

**Pohjoisten metsien kasvu –  
ennen, nyt ja tulevaisuudessa  
Metsäntutkimuspäivä Rovaniemellä 1996**

Toimittaneet  
Hannu Hökkä, Hannu Salminen & Martti Varmola

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 589

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
Kirjasto



# **Pohjoisten metsien kasvu – ennen, nyt ja tulevaisuudessa**

**Metsäntutkimuspäivä Rovaniemellä 1996**

Toimittaneet

Hannu Hökkä, Hannu Salminen & Martti Varmola

Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema  
Rovaniemi 1996

---

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 589

**METSÄNTUTKIMUSLAITOS**  
Kirjasto

Hökkä, Hannu, Salminen, Hannu & Varmola, Martti. (toim.). 1996. Pohjoisten metsien kasvu – ennen, nyt ja tulevaisuudessa. Metsäntutkimuspäivä Rovaniemellä 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 589. 129 s. ISBN 951-40-1497-9, ISSN 0358-4283.

Julkaisun artikkelit perustuvat Rovaniemellä pidetyn tutkimuspäivän artikkeleihin. Artikkelit käsittelevät metsien mennyttä kasvua vuosilustotutkimusten valossa, kuvaavat nykyistä kasvua ja kehitystä viimeisimpien kasvumallien perustella sekä ennustavat mahdollisen ilmaston muutoksen vaikutusta tulevaan kehitykseen. Tarkastelutasot vaihtelevat Pohjois-Euroopasta ja koko Suomesta aina Lappia koskeviin ennusteisiin. Vaihtoehtoisia hakkuulaskelmia Pohjois-Suomen metsille esitetään tuoreiden tulosten perusteella. Laskelmien perustana oleva MELA-metsälaskelma on uudistusten edessä, ja osa esitelmistä käsittelee uusien, entistä tarkempien kasvumallien laadintaa, sekä menetelmiä, joilla voidaan arvioida erilaisten mallien hyvyttä. Lisäksi artikkeleissa puututaan metsien käsittelyohjeisiin.

Avainsanat: kasvumallit, ilmaston muutos, lustotutkimus, hakkuulaskelma, tutkimuspäivät

Kirjoittajien yhteystiedot: Hökkä, Hannu, Salminen, Hannu & Varmola, Martti: Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema, PL 16, 96301 ROVANIEMI, puh. (960) 336 411, telekopio (960) 3364 640.

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema. Hyväksynyt tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen 2.2.1996.

Julkaisua myy: Metsäntutkimuslaitos, Unioninkatu 40 A, 00170 HELSINKI, puh. (90) 857 057 21, telekopio (90) 857 057 17.

ISBN 951-40-1497-9  
ISSN 0358-4283

Julkaisun taitto: Irja Niemelä

GUMMERUS Kirjapaino Oy  
Jyväskylä 1996

## Sisällys

### **Matti Kärkkäinen**

Kasvu- ja tuotostutkimuksen suuntaaminen Metsäntutkimuslaitoksessa ..... 4

### **Kari Mielikäinen**

Kasvun vaihtelu ja kasvutrendit Euroopassa ..... 6

### **Seppo Kellomäki**

Ilmastonmuutosten vaikutukset Pohjois-Suomen metsiin ..... 16

### **Mauri Timonen**

Lapin metsien kasvun vaihtelu viimeisen 500 vuoden aikana ..... 32

### **Pekka Nöjd**

Kuolan metallisulattojen päästöjen vaikutus männyn kasvuun ..... 42

### **Hannu Salminen**

Miten arvioidaan metsää kuvaavia malleja? ..... 47

### **Jari Hynynen**

Puuston kehityksen ennustaminen metsätalouden suunnittelulaskelmissa –  
katsaus MELA-järjestelmän uusiin kasvumalleihin ..... 59

### **Timo Penttilä**

Suometsien kasvu- ja tuotostutkimus – tuloksia ja lähiajan tavoitteita ..... 68

### **Hannu Hökkä**

Männyn ja hieskoivun tuotosvertailua Pohjois-Suomen  
ojitetuilla turvemailla ..... 79

### **Martti Varmola**

Viljelymänniköt – määrää vai laatua? ..... 85

### **Jari Jämsä ja Hannu Hirvelä**

Pohjois-Suomen metsien hakkuumahdollisuudet ..... 96

### **Yrjö Norokorpi, Erkki Lähde ja Olavi Laiho**

Puiden ja puuston kasvu tasarakenteisissa ja erirakenteisissa  
kuivahkon kankaan havu- ja sekametsiköissä Lapissa ..... 107

### **Risto Ojansuu**

Kasvupaikan kuvaus metsän kehitystä ennustettaessa ..... 120

# Kasvu- ja tuotostutkimuksen suuntaaminen Metsäntutkimuslaitoksessa

---

**Matti Kärkkäinen**  
**Metsäntutkimuslaitos, Esikunta**  
**Unioninkatu 40 A, 00170 Helsinki**

Harvan maan talous riippuu metsistä niin paljon kuin Suomen. Siksi jo satoja vuosia sitten pyrittiin turvaamaan tulevaisuuden toimintaedellytykset rajoittamalla metsien hakkuita tasolle, jonka katsottiin vastaavan pitkän aikavälin puuntuotantoedellytyksiä. Olemassa olevien metsävarojen lisäksi arvioon vaikutti puuston kasvu, josta esitettiin suuruusluokaltaan oikeita tuloksia jo järjestäytyneen metsätalouden alkuaikoina 1800-luvun puolivälissä. Esimerkiksi Gylden arvioi 1853, että Suomen metsien kasvu olisi 30 milj. m<sup>3</sup> ja moninkertaistavissa hyvällä metsien hoidolla. Samaan aikaan Suomen puunkäyttö oli 10 milj. m<sup>3</sup> luokkaa.

Metsäntutkimuslaitosta perustettaessa muistettiin mainita kasvu- ja tuotostutkimusten tärkeys ratkaistaessa käytännön metsätalouden ongelmia. Tieteellisesti ala jäi kuitenkin alisteiseksi valtakunnan metsien inventoinnille ja metsänhoitotieteelle. Ei voida väittää, etteikö tutkimuslaitoksessa olisi huolehdittu alan tutkimuksista, mutta silti on yllättävää, että pelkästään kasvu- ja tuotostutkimuksiin keskittyvä professuuri perustettiin vasta 1.9.1971 panostuksen metsäntutkimukseen muutoinkin kasvaessa.

On ehkä liian rohkeaa väittää, että juuri professuurin perustaminen laajensi alan tutkimustoimintaa merkittävästi. Joka tapauksessa kasvu- ja tuotostutkimusten osuuden nousu koko Metsäntutkimuslaitoksen tutkimustoiminnasta ajoittuu juuri professuurin perustamista seuraavaan aikakauteen. Ala tuli muotiin kansallisesti ja kansainvälisesti tietokoneiden antaessa edellytyksiä aiempaa parempaan empiiristen aineistojen analysointiin ja uusien puukohtaisten mallien mahdollistaessa aiempaa monipuolisemmat ennusteet puuston rakenteen kehityksestä.

On ilmeistä, että ala on laajentunut pysyvästi Metsäntutkimuslaitoksessa. Käytännön metsätalous on jo saanut esimakua siitä, mitä nykyaikaisilla suunnittelun ja ennustamisen apuvälineillä voidaan saada aikaan, ja paineet tuotteistettujen sovellusten kehittämiseen ovat suuret. Kun uudet työkalut perustuvat merkittävältä osaltaan kasvu- ja tuotostutkimuksiin ja vaativat korkeatasoista mallintamista, ala

on pikemminkin laajenemassa kuin supistumassa.

On arvioitu, että Metsäntutkimuslaitoksen menestystekijöitä suhteessa yliopistoihin, korkeakouluihin ja pienempiin tutkimuslaitoksiin ovat mm. omat metsät, niitä hoitava, tutkimustyön vaatimukseen tottunut osaava henkilökunta, mahdollisuus panostaa pitkäaikaiseen tutkimus- ja kehittämistyöhön perustuvien sovellusten kehittämiseen sekä monipuoliset resurssit perustaa laajoja monitieteisiä ohjelmia, jolloin voidaan ottaa samanaikaisesti huomioon monia tavoitteita ja rajoituksia.

Kasvu- ja tuotostutkimuksia ajatellen menestystekijöiden käyttäminen merkitsee mm. tarkkaa huolenpitoa pysyvistä koelaloista, sillä parhaankin teorian testaa vain empiirinen aineisto. Lisäksi alan tutkimuksen on hanketasolla integroiduttava ratkaisemaan uusimuotoisen metsätalouden ja maailman kaikenpuolisen muuttamisen herättämiä kysymyksiä. Miten kasvavat jättöpuut ja miten ne vaikuttavat nuorennoksen kasvuun, rakenteeseen ja laatuun? Millaiset riippuvuudet ovat eri puulajeilla ja elinvoimaisuudeltaan erilaisilla puilla? Miten vaikuttavat käytännön tasolla erilaiset vaatimukset sekametsistä? Miten vaikuttaa ilmaston lämpeneminen? Millaisia malleja tarvitaan uusiin työkaluihin ja miten käytännön toteutus hoidetaan? Kysymyksiä on paljon ja ne ovat tärkeitä käytännön metsätalouden ja myös Metsäntutkimuslaitoksen tulevaisuuden kannalta.

Luultavaa myös on, että menestystekijöiden täysimääräinen hyväksikäyttö edellyttää tutkimustulosten vientiä aiempaa paljon pidemmälle aina valmiiksi tuotesovelluksiksi asti. Asia on kohtalaisen uusi valtion rahoittamassa tutkimuslaitoksessa, mutta siihen on syytä valmistautua koko metsätaloutta koskevan rakennemuutoksen ravistellessa luutuneita työnjakoja ja rajapintojen määrittelyjä. Nykyaikana pysyvää voi olla vain muutos, ja siinä Metsäntutkimuslaitos aikoo olla täysin rinnoin mukana.

# Kasvun vaihtelu ja kasvutrendit Euroopassa

---

**Kari Mielikäinen**  
**Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus**  
**PL 18, 01301 Vantaa**

## 1 Yleistä

Puiden ja metsien kasvun mittaaminen ja ennustaminen ovat kautta aikain kiinnostaneet ihmistä. Mittauksiin perustuvat kasvuennusteet ovat välttämättömiä arvioitaessa suuralueiden kestäviä hakkuumahdollisuuksia vuosikymmeniä eteenpäin. Tämänhetkisen puuntuotoksen ohella myös mennyt, nykyinen ja tuleva kasvun vaihtelu ovat metsä- ja ilmastotieteilijöiden keskeinen tutkimuskohde. Mennyt kasvu selviää järvien pohjiin ja maakerrostumien alle hautautuneista ns. fossiilipuista. Nykykasvua tutkitaan kairaamalla lastu kasvavista puista tai seuraamalla kasvun kehitystä tunnintarkasti puuhun kiinnitettävillä mittareilla. Tulevaa kasvua voidaan ainoastaan ennustaa.

Metsäntutkijat käyttävät kasvun vaihtelutietoa metsien toistuvissa inventoinneissa, joiden eriaikaiset kasvut korjataan vastaamaan ilmastollista keskitasoa. Indeksikorjattua kasvua tarvitaan myös laadittaessa kasvumalleja tai tuotostaulukoita. Sääoloiltaan keskimääräisestä poikkeava mittausjakso saattaa vääristää kasvutuloksia viisivuotiskauden keskiarvona jopa 10 prosenttia. Vuotuiset poikkeamat kasvun keskitasosta voivat olla Etelä-Suomessa noin 30 prosenttia, pohjoisessa huomattavasti enemmän.

Ilmastotieteilijät etsivät puiden vuosirenkaista tietoja menneistä säistä. Fossiilipuiden perusteella on mahdollista arvioida ilmaston vaihtelua jopa vuosituhanten takaa. Tieto on tarpeen pyrittäessä löytämään vertailukohdetta lähitulevaisuudessa odotettavalle ilmaston lämpenemiselle. Nykyajan kasvun vaihtelu kiinnostaa puolestaan tutkijoita, jotka pyrkivät selvittämään säiden ja mahdollisten saasteiden vaikutusta puiden kasvuun ja tekemään ennusteita saamiensa tulosten perusteella.

## 2 Kasvun vaihtelu kasvukauden aikana

Puun kasvun muodostuminen kasvukauden aikana on edelleen heikosti tunnettu asia, vaikka puun ympärysmittaan tarkkaan mittaukseen sopivia kasvupantoja on ollut käytössä jo ainakin sataviisikymmentä vuotta. Syynä kertyneen tiedon vähyteen ei ole tutkijoiden laiskuus, vaan se, että tarkat mittalaitteet ovat kalleutensa vuoksi jääneet vain tutkijoiden harvinaisiksi ”leluiksi”.

Kasvun muodostuminen käsittää kuitenkin myös monia käytännön metsätaloutta kiinnostavia kysymyksiä, joiden ratkaiseminen lisäisi tietämystämme erityisesti metsien elinvoimaisuudesta. Puun paksuuskasvun jatkuva seuranta yhdistyneenä samanaikaisesti sää- ja saastemittauksiin olisi huomattavasti parempi puun terveydentilan mittari kuin koko Euroopan laajuinen puiden neulasmäärien (harsuuntumisen) silmävarainen arviointi.

Muita kasvun jatkuvaa mittausta edellyttäviä käytännön kysymyksiä ovat kasvukauden alkaminen, kesto ja kasvun taso eri osissa maatamme. Tietoa olisi mahdollista hankkia myös metsikön erikokoisten puiden tai eri tavoin käsiteltyjen puustojen reagoinnista säävaihtelulle, jos vain olisi käytettävissä halpoja, tarkkoja ja automaattisia kasvupantoja. Em. kysymysten tutkimiseen tarvitaan satoja kasvupantoja kymmeniin metsiköihin ympäri maata.

Metsäntutkimuslaitoksella on ollut muutaman vuoden käytössään kehittämänsä kasvupanta, jolla puun paksuuden muutoksia on mahdollista seurata tunnintarkasti niin kesällä kuin talvellakin (kuva 1). Pantojen luotettavuus, pieni koko, automaattisuus ja halpa hinta ovat saaneet myös EUn kiinnostumaan niistä. Toivon mukaan suomalaiset kasvupannat koristavat lähivuosina tuhansia puita ympäri Eurooppaa korvaten silmävaraisen harsuuntumisen arvioinnin. Pannan tarkkuus riittää myös vuosiluston yksittäisten solukerrosten mittaamiseen, mikäli kuoren ja puun turpoilu ja kutistuminen pystytään erottamaan kasvusta.

## 3 Kasvun vuosien välinen vaihtelu ja metsien kunto

Viime vuosina Suomessa on keskusteltu vilkkaasti milloin kuusten, milloin taas mäntyjen ja koivujen ajoittaisesta heikosta kunnosta ja kasvusta. Keski-Euroopassa keskustelu käynnistyi ensi kertaa jo 1970-luvun puolivälissä. Neulaskadon ja muutamia vuosia jatkuneen puiden heikentyneen kasvun perusteella alettiin puhua yleisesti metsäkuolemasta, jonka uskottiin nopeasti autuioittavan suuria metsäalueita.

Kuva 1. Metlassa kehitetty puun paksuusvaihtelun jatkuvaan seurantaan soveltuva yksinkertainen kasvupanta.



Erkki Pesonen

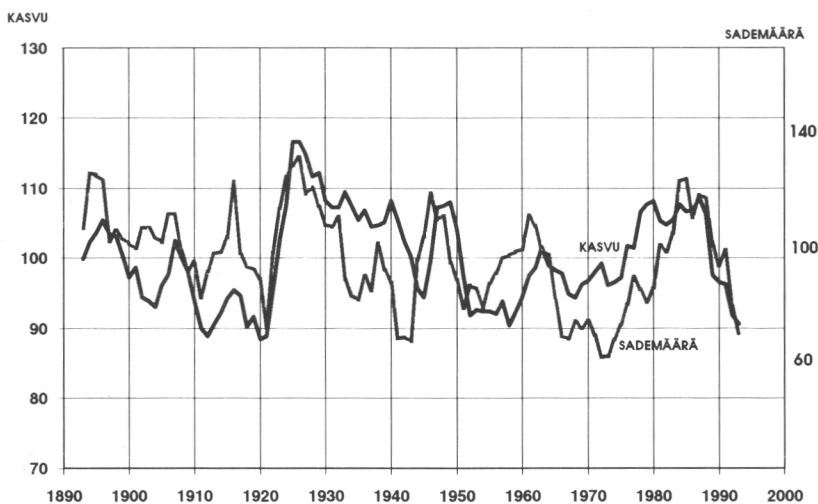
Vuosilustoanalyysit osoittivat, ettei tilanne ollut niin toivoton kuin aluksi luultiin. Kasvun romahdus 1970-luvun puolivälissä oli samanlainen kuin 1920-luvulla ja 1950-luvun vaihteessa ja aiheutui kuivuudesta. Sateisemmat kesät käänsivät puiden kasvun jälleen nousuun kuten aina ennenkin.

Todellisia metsäkuolemia ilmeni vuodenvaihteessa 1978/79 ja talvella 1984. Laajin tuhoalue (yli 40 000 ha) sijaitsi Tsekkoslovakian ja Itä-Saksan rajalla Erzgebirgen vuoristossa, jossa ruskohiilen polton tiedettiin tuottavan valtaisan määrän rikkidioksidia. Vuodenvaihteessa 1978/79 lämpötila laski yön aikana yli +10 asteesta -20 asteeseen. Saasteiden heikentämät, alavilta mailta kotoisin olevat tiheät istutuskusikot eivät tätä kestäneet vaan kuolivat. Tuhoja sattui mainittuna yönä laajalti muuallakin Keski-Euroopassa.

Pakkasen sekä "väärrien" puulajien ja puualkuperien huomattavaan osuuteen metsäkuolemissa viittaa se, että tuhoalueille istutetut uudet metsät ovat menestyneet hyvin. Lisää uskoa valoisampaan tulevaisuuteen antaa rikkipäästöjen huomattava aleneminen koko Euroopassa.

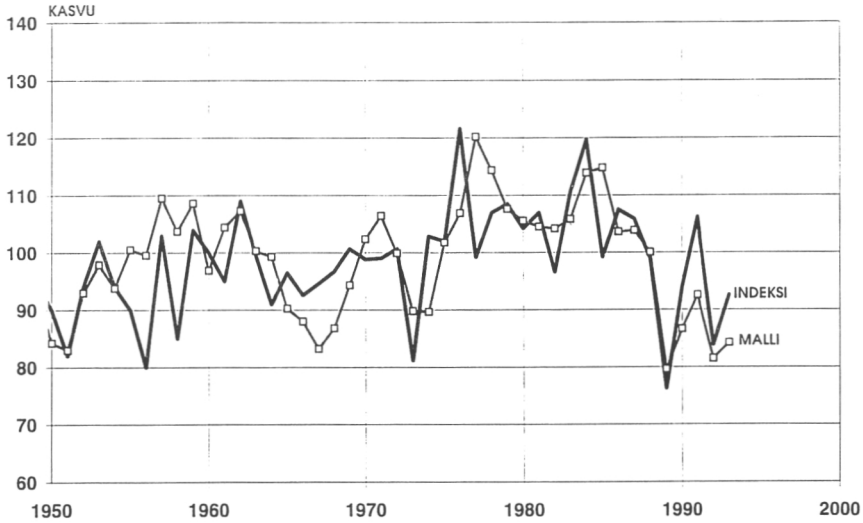
Viimeisimmät vuosilustoanalyysit osoittavat, että männyn ja kuusen kasvu on alentunut erityisesti Etelä-Suomessa selvästi 1980-luvun puolivälin tasosta. Syiksi alenemiseen on tarjottu niin säitä kuin saasteitakin.

Väheksymättä saasteiden merkitystä säätilastot osoittavat selvästi, että Etelä-Suomen touko-kesäkuut ovat muuttuneet 1980-luvun puolivälin jälkeen kuivemmiksi. Monin paikoin alkukesän sademäärät ovat pudonneet noin puoleen vajaan kymmenessä vuodessa. Kasvuanalyysien mukaan kuusikoiden kasvu myötäilee kiinteästi touko-kesäkuuden sademääriä (usean vuoden yhteisvaikutus, kuva 2)



Kuva 2. Kuusen paksuuskasvun ja touko-kesäkuun sademäärien suhteellinen vaihtelu Etelä-Suomessa 1893–1993. Vuosilustoindeksit Mikola 1893–1947 (Tammela), Tiihonen 1948–1962 (Etelä-Suomi), Timonen 1963–1993 (Etelä-Suomi), sademäärät Jokioinen. Kasvu- ja sadeindeksit ovat kuluneen 5-vuotiskauden liukuvia keskiarvoja.

ja edellisen kesän lämpötiloja. Veden merkitys kuusen kasvulle on helppo ymmärtää; edellisen kesän lämpimyyden puolesta saa kuusen kukkimaan ja kasvamaan seuraavana kesänä heikosti. Näin kävi mm. vuosina 1973 ja 1989, jotka ovat useiden vuosikymmenien seurantaajakson runsaimmat käpyvuodet kuusella (kuva 3).



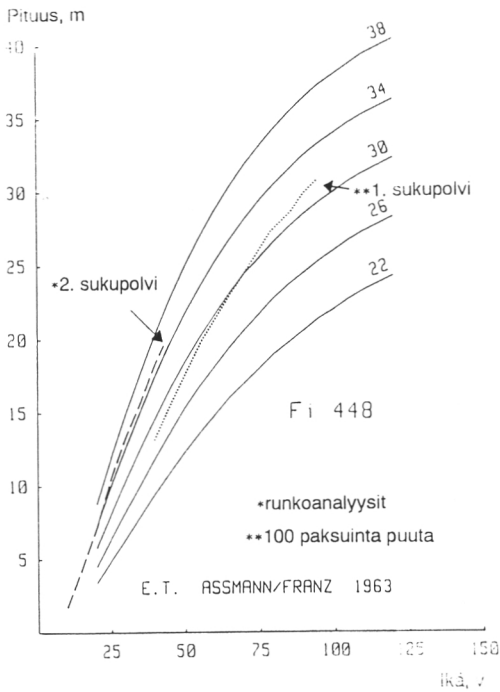
Kuva 3. Mitattu ja säätekijöillä ennustettu kuusen vuosilustoindeksi. Mallin selittäjät ovat viimeisten 10 vuoden touko-kesäkuun sademäärä sekä edellisen vuoden heinäkuun keskilämpö.

Ketju Etelä-Suomen kuusten ajoittaiseen kurjistumiseen ja elpymiseen on arvioni mukaan seuraava:

Kuusi on juuristoltaan pinnallinen, rehevillä (savi-) mailla kasvava puulaji, joka sateisina vuosina saa yllin kyllin vettä ja ravinteita. Yltäkylläisyyden vallitessa puut kasvattavat paljon neulasia jättäen juuret vähemmälle huomiolle. Kuivien vuosien yllättäessä tuuhealla, pienijuurisella kuusella ei ole henkiin jäädäkseen muuta mahdollisuutta kuin varistaa osan haihduttavista neulasistaan pois (=harsuuntua) ja ruveta kasvattamaan lisää juuria. Harsuuntuminen ja juuriin sijoittaminen näkyvät sekä puun kurjassa ulkonäössä että kasvussa. Sateiset kaudet korjaavat jälleen tilanteen, kuten ovat tehneet jo useita kertoja tällä vuosisadalla.

Päätelmät poikkeavat huomattavasti aiemmin esitetystä käsityksestä (esim. Mikola 1950), joiden mukaan ainoastaan kasvukauden lämpötila rajoittaa metsien kasvua Suomessa. Näin ehkä onkin asian laita Pohjois-Suomessa ja etelässäkin silloin, kun tarkasteltavana ovat vain yhden kasvukauden sateet ja kosteusolot. Puun aiempiin vuosiin ulottuva ”muisti” on nyt esitettyjen tulosten mukaan aiemmin arvioitua pidempi.

Lisärasitetta Etelä-Suomen metsille ovat kuivuuden ohella antaneet viime aikoina kolme vuosisadan lämpimintä (tammi–maaliskuun keskilämpö vuosina 1989, 1990 ja 1992 Jokioisilla) ja kaksi neljän kylmimmän joukkoon (1985 ja 1987)



Kuva 4. Esimerkki samalla paikalla kasvavan kuusikon valtapituuden kehityksestä kahden peräkkäisen puusukupolven aikana (Kenk ym. 1991).

sijoittuvaa talvea kahdeksan vuoden jakson aikana. Jatkuvasti nollan yläpuolella pysyttelevä talven lämpö saa kuuset hengittämään itsensä heikkoon kuntoon aikana, jolloin juurten vedenotto on estynyt.

#### 4 Pitkän ajan kasvutrendit

Trendillä tarkoitetaan pitkän aikaa samaan suuntaan tapahtuvaa kehitystä. Kasvusta puhuttaessa tarkoitetaan tavallisesti vuosikymmenien ajanjaksoa, jolloin kasvu joko alenee tai lisääntyy.

Euroopan metsien kokonaiskasvu on lisääntynyt metsäinventointien mukaan parin viime vuosikymmenen aikana noin neljänneksellä. Metsien kokonaiskasvutrendi on ollut näin ollen varmuudella positiivinen. Huomattavana syynä tähän ovat kasvua vähäisemmät hakkuut yhdessä muuttuneen metsänhoidon ja metsien ikärakenteen kanssa.

Kasvun lisääntyminen ja toisaalta arviot metsien heikentyneestä terveyden-

tilasta (harsuuntuminen) olivat syyt, jonka vuoksi Metla ja Freiburgin yliopisto aloittivat yhteistutkimuksen. Tavoitteena oli selvittää, löytyykö Euroopan metsistä kasvupaikan muuttumisesta aiheutuvia kasvutrendejä, joita ei voi selittää metsien rakenteen muuttumisella tai vähäisillä hakkuilla. Kasvupaikalla tarkoitetaan tässä sekä maata että puuta ympäröivää ilmaa.

Euroopan metsäinstituutin (EFI, Joensuu) koordinoimaan tutkimukseen ilmoitautui pian yli 70 vapaaehtoista tutkijaa noin 20 maasta. Kussakin maassa itsenäisesti tehdyn työn tulokset ovat nyt kolmen vuoden kuluttua pääosin valmiit.

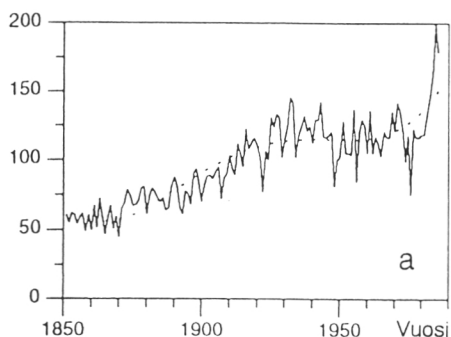
#### 5 Keski-Euroopassa puiden kasvu kiihtynyt

Keski-Euroopassa puiden ja metsien kasvu on viime vuosikymmeninä lisääntynyt tavalla, jota on vaikea selittää pelkällä metsänhoidolla, metsien rakenteen muuttamisella tai vähäisillä hakkuilla. Saksalaiset ovat mitanneet täsmälleen samalla paikalla kasvaneiden peräkkäisten puusukupolvien pituuskehitystä. Yli 40 kesto-kokeella tehtyjen mittausten mukaan nykypuustot ovat kasvaneet poikkeuksetta nopeammin kuin edellinen sukupolvi (Kenk ym. 1991, kuva 4). Tulokset Sveitsis-

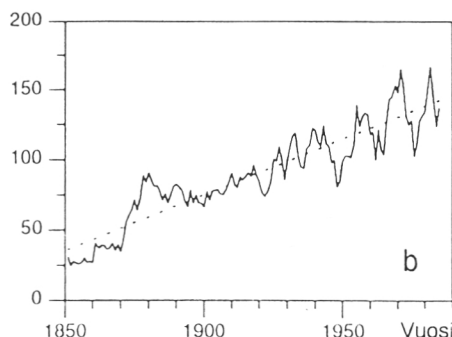
sä ja Etelä-Ruotsissa sijaitsevilla kokeilla ovat samansuuntaisia. Pääsyyinä kasvu-  
paikan puuntuotoskyvyn (valtapituusboniteetin) kohoamiseen pidetään ilmasta  
satavaa typpilaskeumaa, joka on ollut viime vuosikymmenet tasolla 15–40 kg/ha/  
v. Määrä vastaa meillä käytännön metsänlannoituksissa yleisesti suositeltavaa  
annosta (150 kg/ha 6–8 vuoden välein).

Ranskassa tehdyt vuosilustoanalyysit osoittavat puiden kasvavan tällä hetkel-  
lä 50–160 prosenttia enemmän kuin samanikäiset puut 1800-luvun puolivälissä  
(Becker ym. 1994, kuva 5). Osa kasvun lisäyksestä johtunee metsänhoidon mene-  
telmien muuttumisesta (harsintametsät ja alikasvokset 1800-luvulla), osan selittänee  
kuten Saksassakin typpilaskeuma. Puiden paksuuskasvun lisääntyminen korkeal-  
la Pyreneitten vuoriston hakkaamattomissa männiköissä osoittaa kuitenkin, ettei-  
vät metsänhoito ja vähäinen typpilaskeuma pysty selittämään kasvutrendiä koko-  
naan. Tulos viittaa siihen, että myös ilmaston muuttuminen puiden kasvulle suotui-  
sammaksi sekä ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden lisääntyminen ovat saattaneet  
tuoda oman lisänsä havaittuun kasvutrendiin.

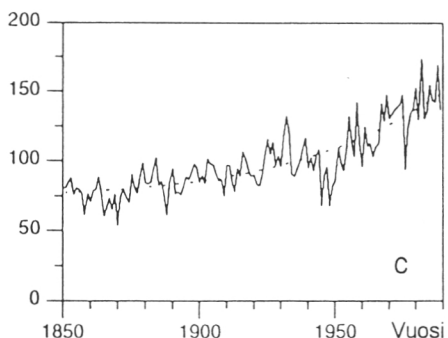
Vuosilustoindeksi, %



Vuosilustoindeksi, %



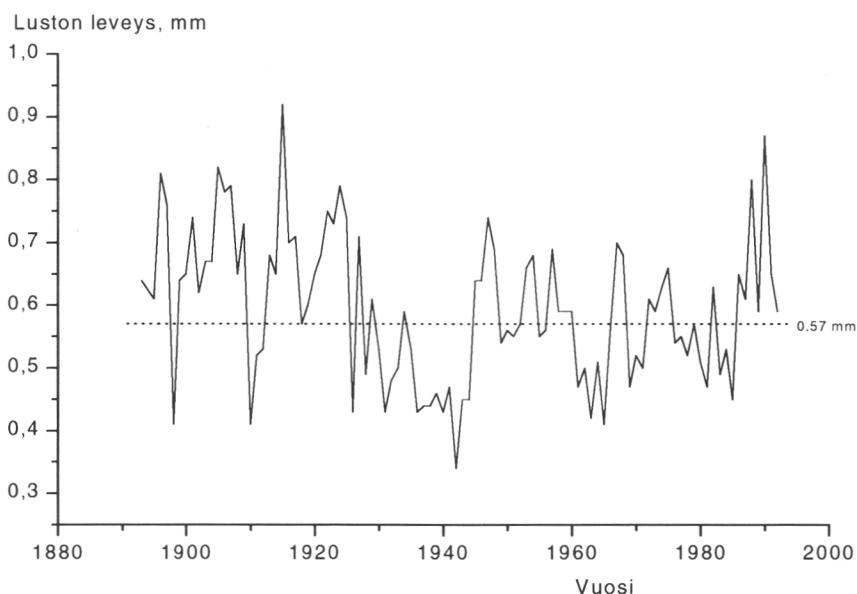
Vuosilustoindeksi, %



Kuva 5. Saksanpihdan (a), kuusen (b) ja pyökin (c) kasvun vaihtelu (vuosilustoindeksi) Vogeesien vuoristossa Koillis-Ranskassa (Becker ym. 1994).

## 6 Pohjoisessa kasvu ei ole lisääntynyt

Selvästi positiivisen trendin pohjoisraja kulkee linjalla Etelä-Ruotsista Pietariin. Erityisesti Etelä-Ruotsissa (Eriksson ja Johansson 1993), mutta myös Pietarin alueella (Mielikäinen ja Sennov 1995) viime vuosikymmenien kasvutrendi on ollut nouseva. Pohjoisempana Keski-Suomessa, Norjassa ja Venäjän Karjalassa metsänhoidolta rauhassa kasvaneiden puiden kasvu ei ole muuttunut tällä vuosisadalla ainakaan yksiselitteisesti. Suomalaisessa osatutkimuksessa (Mielikäinen ja Timonen 1995) etelä- ja keskisuomalaisen männyn sädekasvu ei osoittanut minkään suuntaista trendiä viimeisten sadan vuoden aikana. Tulos oli sama, olivatpa tarkasteltavina luonnonsuojelualueilla metsänhoidolta rauhassa kasvaneet männyt tai Metlan alaharvennuskoealojen puut (kuva 6). Viime vuosikymmenellä männyn kasvu on parhaimmillaan yltänyt 1920-luvun ilmastollisesti suotuisien vuosien tasolle.



Kuva 6. Männyn sädekasvun vaihtelu ikäluokassa 90–120 vuotta Keski-Suomen luonnonsuojelualueilla vuosina 1893–1993 (Mielikäinen ja Timonen 1995).

Ruotsin valtakunnan metsien viime vuosikymmeninä tehdyt inventoinnit paljastavat kasvutrendejä, jotka poikkeavat selvästi esitetyistä suomalaistuloksista. Noin 100 000 puun kasvumittaukset osoittavat sekä nuorten että vanhojen puiden sädekasvun lisääntyneen Ruotsin eteläpuoliskon metsissä noin 30 prosentilla viimeisten 40 vuoden aikana. Eroista huolimatta Suomen ja Ruotsin tulokset eivät ole ristiriidassa keskenään. Elfvingin ja Tegnhammarin (1995) mukaan pääsyyinä puiden kasvun lisääntymiseen talousmetsissä on siirtyminen harsintahakkuista tasaikäisten metsien alaharvennuksiin. Neljäkymmentä vuotta sitten harsintametsien

nuoret puut kärsivät isompien puiden varjostuksesta, nykymetsien puut ovat alusta lähtien vapaana kasvaneita. Vanhat puut olivat 1950-luvulla harsinnan jättöpuita; nykyisin ne ovat alaharvennuksissa jätettyjä metsikön parhaita puita. Suomalaisessa tutkimuksessa tarkasteltiin puita, joiden kasvuympäristö on ollut koko kuluvan vuosisadan mahdollisimman samanlainen (luonnonsuojelualueet ja alaharvennetut koemetsiköt).

Lapissa tehdyt tutkimukset (Hari ja Arovaara 1988, Nöjd ja Kauppi 1995, Eronen ja Zetterberg 1992) osoittavat männyn sädekasvun vaihtelevan voimakkaasti vuodesta ja vuosikymmenestä toiseen. Viimeisimmän sadan vuoden aikana kasvun kehitykseen ovat voimakkaimmin vaikuttaneet ns. pikku jääkauden loppuminen 1800-luvun puolivälissä, vuoden 1902 pakkastuho ja sitä seurannut ilmaston selvä lämpeneminen sekä 1930-luvulla jälleen alkanut ilmaston viileneminen. Eri-tyisesti 1960-luku on ollut männyn kasvulle epäedullinen. Mitään selkeää kasvun muutosta Lapin puut eivät ole vuosisatamme kolmea ensimmäistä vuosikymmentä lukuunottamatta osoittaneet.

## **7 Kasvutrendin puuttuminen on hyvä uutinen**

Se, ettei metsänhoidolta “rauhassa” kasvaneiden mäntyjen vuosilustojen leveys ole muuttunut Suomessa tällä vuosisadalla mihinkään suuntaan, on luonnollista seuraavista syistä:

- Suomen rikkipäästöt ovat vähentyneet noin 70 prosentilla 1970-luvun tasolta.
- Keski-Suomen vuotuinen typpilaskeuma, noin 5–6 kg/ha, on vain viidennes Keski-Euroopan arvoista.
- Vuodet 1961–1990 ovat olleet keskimäärin viileämpiä kuin sitä edeltävät vuodet 1931–1960.
- Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden lisääntyminen on vielä niin vähäistä, ettei sen vaikutuksia pystytä erottamaan kasvun normaalista ilmastollisesta vaihtelusta.

Tieto kasvutrendin puuttumisesta Suomessa on hyvä uutinen. Keski-Euroopassa ilmasta satava ja metsiä lannoittava tyyppi on kuin aikapommi, johon metsänomistaja ei voi vaikuttaa ja jonka laukeamista (maaperän ravinnetasapainon järkkäminen) on vaikea ennustaa. Suomen metsien kokonaiskasvun lisäys, 44 % 1950-luvulta lähtien on edellisen perusteella pääosin metsien ikärakenteen muuttumisen, metsien tihentymisen sekä metsänhoidon ja metsänparannuksen ansiota.

## **8 Pitkät havaintosarjat opettavat varovaisuuteen**

Se, etteivät 70 tutkijan laajat tutkimukset paljastaneet negatiivisia kasvutrendejä ei merkitse sitä, etteivätkö ilman epäpuhtaudet alentaisi kasvua ja jopa tappaisi puita

paikoitellen Euroopassa. Kuolan niemimaan nikkelisulattojen sekä Keski-Euroopassa suurimpien ruskohiiltä polttavien voimaloiden ympärillä on sekä täysin kuolleita että kasvussaan taantuneita metsiä. Tuhoalueiden pinta-ala on kuitenkin kuskakin tapauksessa niin pieni, ettei niiden vaikutus näy kokonaiskuvassa. Suurimmillaan yksittäisen teollisuuslaitoksen vaikutusalue lienee Kuolan Montsegorskissa, jossa puiden kasvun aleneminen ulottuu 30–40 kilometrin etäisyydelle laitoksista (Nöjd ja Kauppi 1995). On myös mahdollista, että kasvua lisäävät ja sitä alentavat tekijät kumoavat osittain toisensa kasvua lisäävien tekijöiden ollessa toistaiseksi niskan päällä.

Viime aikoina metsäkeskustelu on siirtynyt ilmansaasteista ilmaston oletettuun lämpenemiseen. Hurjimmat ennustajat ovat arvioineet kasvihuoneilmaston voimistumisen vaikuttavan ilmastoomme tavalla, joka hävittäisi havupuut koko Etelä-Suomesta muutamassa kymmenessä vuodessa. Väitteen realistisuutta on mahdollista arvioida ”lukemalla” Suomen ilmastohistoriaa vanhojen puufossiilien vuosirenkaista. Nykyisen metsänrajan pohjoispuolella eläneet, professori Matti Erosen pintaan nostamat männyt todistavat, että Pohjois-Suomen ilmasto on ollut selvästi nykyistä lämpimämpää noin 5000 vuotta sitten. Vuosirenkaat paljastavat myös sen, että ilmasto on joskus muuttunut useita asteita kylmemmäksi tai lämpimämmäksi muutamassa vuosikymmenessä ilman että havupuut olisivat kuolleet sukupuuttoon.

Lähempänä nykyaikaa olevan arvion puiden ”lämmönsietokyvystä” antavat professori Olli Heikinheimon lähes 70 vuotta sitten perustamat kokeet, joissa hän istutti eri puolilta Suomea ja Keski-Eurooppaa peräisin olevia havupuualkuperiä maan eri osiin etelästä aina Lappiin saakka.

Kokeet osoittavat puulajiemme olevan huomattavan mukautumiskykyisiä ilmaston muutokselle (ainakin lämpötilalle). Lapista kotoisin oleva kuusi on tuottanut useita asteita lämpimämmässä Etelä-Suomessa 2–3 kertaa niin paljon puuta kuin sama alkuperä Lapissa. Näin ollen voimme melko luottavaisin mielin odottaa tulevaisuutta kotimaisten puulajiemme kanssa. Ilmaston mahdollinen lämpeneminen saatta tuoda mukanaan lisääntyviä metsätuhoja, mutta myös lisääntyvän puuntuotoksen.

Vuosisatojen ja vuosituhansien mittaisten lustosarjojen tarkastelu antaa tutkijalle tarpeellista varovaisuutta ja nöyryyttä kasvun vaihtelun tulkintoihin. Varovaisuutta tarvitaan edelleen tutkittaessa Euroopan metsien viimeaikaisia kasvutrendejä ja tehtäessä päätelmiä sekä ennusteita trendien syistä ja metsien tulevasta kehityksestä.

## Kirjallisuus

- Becker, M., Bert, G. D., Bouchon, J., Dupouey, J. L., Picard, J. F. & Ulrich, E. 1994. Long-term changes in forest productivity in northeastern France: the Dendroecological Approach. Julkaisussa: Landmann, G. ja Bonneau, M. (toim.). Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains. Springer Verlag Berlin Heidelberg 1995. 461 s.
- Elfving, B. & Tegnhammar, L. 1995. Trends of tree growth in Swedish forests 1953–1992. An analysis based on sample trees from the National Forest Inventory. Scandinavian Journal of Forest Research. (painossa).

- Eriksson, H. & Johansson, U. 1993. Yields of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in two consecutive rotations in southwestern Sweden. *Plant and Soil* 154: 239–247.
- Eronen, M. & Zetterberg, P. 1992. Fennoskandian subarktisen alueen dendrokronologinen ilmastohistoria. Julkaisussa: Kanninen M. & Anttila P. (toim.). Suomalainen ilmakehänmuutosten tutkimusohjelma. Tutkimusten väliraportti, Valtion Painatuskeskus. s. 143–156.
- Hari, P. & Arovaara, H. 1988. Detecting CO<sub>2</sub> induced enhancement in the radial increment of trees. Evidence from northern timber line. *Scandinavian Journal of Forest Research* 3: 67–74.
- Kenk, G., Spiecker, H. & Diener, G. 1991. Referenzdaten zum Waldwachstum. Projekt Europäisches Forschungszentrum für Manahmen zur Luftreinhaltung (PEF). Kernforschungszentrum Karlsruhe. 59 s.
- Mielikäinen, K. & Sennov, S. N. 1995. Growth trends of forests in Finland and north-western Russia. Käsikirjoitus. 7 s.
- & Timonen, M. 1995. Growth trends of Scots pine in stands outside effects of changing silviculture in southern Finland. Käsikirjoitus. 11 s.
- Mikola, P. 1950. Puiden kasvun vaihtelusta ja niiden merkityksestä kasvututkimuksessa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 38(5): 1–131.
- Nöjd, P. & Kauppi, P. 1995. Mäntyjen kasvu muuttuvassa ympäristössä. Julkaisussa: Tikkanen, E. (toim.). Kuolan saastepäästöt Lapin metsien rasitteena. Itä-Lapin metsävaurioprojektin loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriö. Metsäntutkimuslaitos. s. 183–195.

# Ilmastonmuutosten vaikutukset Pohjois-Suomen metsiin

---

Seppo Kellomäki  
Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta  
PL 111, 80101 Joensuu

## 1 Lähtökohtia

Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on kohonnut viimeisen 100 vuoden aikana 290 ppm:stä (tilavuutena) 360 ppm:ään. Taustalla ovat fossiilisten polttoaineiden käyttö (noin 80 % hiilidioksidin lisäyksestä) ja metsien häviäminen (noin 20 %). Myös typpiyhdisteiden (esim.  $\text{NO}_2$ ), metaanin ( $\text{CH}_4$ ) ja kloorifluorihilivetyjen (CFC) päästöt muuttavat ilmakehän koostumusta. Hiilidioksidin tavoin nämäkin yhdisteet läpäisevät helposti lyhytaaltoista säteilyä, mutta huonosti pitkäaaltoista. Ilmakehän koostumuksen muuttuessa avaruuteen poistuu aiempaa vähemmän lämpöä: merien ja mannerten pintaosat sekä alailmakehä lämpiävät ja ilmasto muuttuu (Schneider 1989).

Suomessa pohjoinen metsäraja sijoittuu alueille, missä heinäkuun keskilämpötilan pitkän ajan arvo ylittää  $12\text{ }^\circ\text{C}$  (Hustich 1948). Myös muualla Lapissa ilmaston lämpiäminen vaikuttaisi voimakkaasti. Emanuel ym. (1985) arvioivat huomattavan osan boreaalista havumetsistä Kanadassa, Pohjoismaissa ja Venäjällä korvautuvan lauhkean vyöhykkeen lehtimetsillä. Myös Kauppi ja Posch (1985) päätyivät laskelmissaan samanlaisiin päätelmiin: pohjoisten havupuumetsien eteläraja asetuisi Rovaniemen korkeudelle samalla, kun Etelä- ja Keski-Suomen metsät tulisivat edustamaan lehtimetsävyöhykettä.

Tässä katsauksessa tarkastellaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia Lapin metsiin esimerkkinä ilmaston muutoksien mahdollisista vaikutuksista tällä alueella.

## 2 Ilmastonmuutoksen vaikutuksien tutkiminen

Ilmastonmuutosta koskevat ennusteet perustuvat fysikaalisiin malleihin, joissa syötteinä käytetään kasvihuonepäästöjä ja niiden sitoutumista koskevia tietoja. Näiden avulla lasketaan ilmakehän muutoksen vaikutus maapallon lämpötaseeseen ja edelleen ilmastoon. Malleissa ilmakehä kuvataan kolmiulotteisena hilana. Mal-

lien horisontaalinen taso on laajuudeltaan satoja kilometrejä ja vertikaalinen tasokin useita kilometrejä. Ilmasto ja sen muuttuminen lasketaan verkoston risteyskohdissa ottaen huomioon ilmakehän fysikaaliset ominaisuudet sekä ilmakehän vuorovaikutus mantereiden ja merien kanssa (Schneider 1989). Globaalisesti laskelmat ovat luotettavia, mutta täsmällisiä alueellisia (resoluutio < 500 km) ennusteita ei kuitenkaan kyetä vielä antamaan. Tämän vuoksi Lappia koskevista tarkasteluista on tyydyttävä arvioihin, joissa alueen ilmastoon oletetaan muuttuvan samalla tavalla kuin vastaavan suuralueen ilmastoon.

Ilmastomuutoksen vaikutuksia maa- ja vesiekosysteemeihin tutkitaan myös mallilaskelmien avulla. Kokeellisesti voidaan luoda olosuhteet, jotka vastaavat muuttunutta ilmastoa: kohotetaan hiilidioksidipitoisuutta ja lämpötilaa sekä lisätään sadetta (kuva 1). Tällaiset kokeet ovat tärkeitä pyrittäessä ymmärtämään mekanismeja, joiden välityksellä muuttuva ilmasto vaikuttaa ekosysteemeihin. Laboratorio- ja kenttäkokeiden yleistämiseen tarvitaan kuitenkin malleja. Mallit ovat erityisen hyödyllisiä ilmastomuutostutkimuksessa, jossa syytekijät muuttuvat koko ajan ja vaikutukset ovat tunnistettavissa vasta vuosikymmenien kuluttua.

Metsä on monimutkainen ja hierarkkinen järjestelmä, jossa eliöiden aineenvaihdunta kytkee metsäekosysteemin toiminnan ja rakenteen ilmastoon. Aineenvaihdunnan muutokset selittävät samalla, miten muuttuva ilmasto vaikuttaa metsäekosysteemin dynamiikkaan. Solujen ja kasvinosien tasolla puut reagoivat nopeasti mm. lämpötilaan ja ilman hiilidioksidipitoisuuteen. Kokonaisen puun tasolla reagointi on jo tuntuvasti hitaampaa puhumattakaan metsäekosysteemistä. Puiden hidas sopeutuminen kertautuu metsäekosysteemin tasolla, jossa muutokset havaitaan vasta vuosien ja vuosikymmenten viiveellä. Puiden pitkä sukupolviaika ja hidas luontainen leviäminen synnyttävät tilanteen, jossa metsäekosysteemin toiminta ja rakenne muuttuvat tuntuvasti hitaammin kuin ilmasto muuttuu.

Koko maapalloa koskevat ennusteet perustuvat tavallisesti Holdridgen (1967) bioklimaattisiin vyöhykkeisiin. Esimerkiksi yllä referoitu Emanuelin ym. (1985) ennuste perustuu tähän tekniikkaan. Tässä mallissa kasvillisuusvyöhykkeet määräytyvät lämpötilan ja sadannan perusteella. Tämän suhteen oletetaan vallitsevan myös tulevaisuudessa, jolloin uudet sadanta- ja lämpöolot ilmaisevat suoraan kasvillisuuden levinneisyyden tulevaisuudessa. Holdridgen mallilla tehdyissä laskelmissa verrataan nykytilannetta ja tulevaa tilannetta ottamatta huomioon ilmaston vähittäistä muuttumista ja kasvillisuuden hidasta sopeutu-

Ilkka Kontinen



Kuva 1. Ilmastomuutosta tutkitaan: mänty kohotetussa lämpötilassa Mekrijärven tutkimusasemalla.

mista ja siirtymistä uusille alueille. Kahden tilanteen suora vertailu korostaa muutosta, joka on mahdollinen vuosikymmenien ja vuosisatojen viiveellä. Kasvillisuusvyöhyke on myös vain karkea kuvaus kasvillisuudesta lajeina ja kasvustoina. Etelä-Suomen metsien muuttuminen lehtimetsiksi ei tarkoita havupuiden kuolemista sukupuuttoon, vaan lehtipuuvaltaisuuden vähittäistä lisääntymistä siinä mitassa, että lehtipuumetsien ja havumetsien raja voidaan piirtää pohjoisemmaksi.

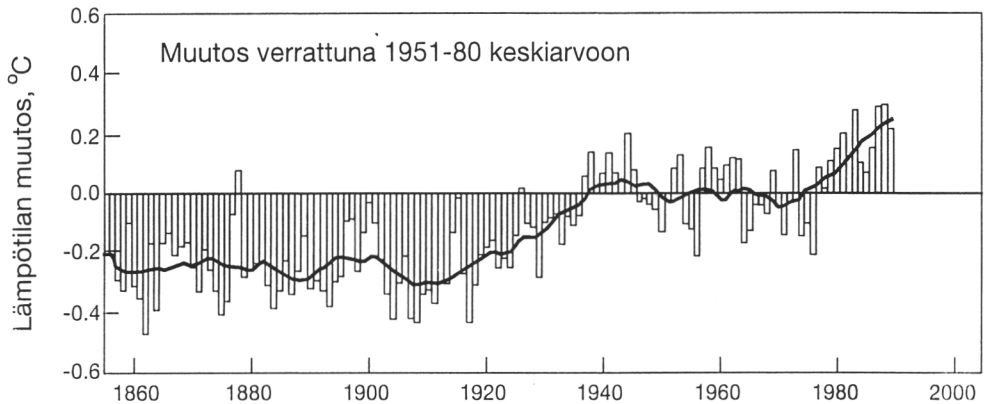
Holdridgen mallin tuloksia täydentävät monet ekologiset mallit, joista useimmat ovat ns. latvusaukkomalleja. Tässä mallityypissä puiden maantieteellinen levinneisyys rajataan lämpöolojen ja sadannan avulla. Mallia täydennetään puiden välisellä kilpailulla valosta, vedestä ja ravinteista, joiden saatavuutta ohjaa latvusaukkojen syntyminen ja sulkeutuminen puiden uudistuessa, kasvaessa ja kuollessa. Latvusaukkomallit ovat luonteeltaan kasvu- ja tuottotaulukoita, joissa kasvu- paikka määritellään lämpö- ja sadantaolojen sekä veden ja ravinteiden saatavuuden avulla, jotka ohjaavat uudistumisen, kasvun ja kuoleman avulla kuvattua puiden populaatiodynamiikkaa. Latvusaukkomallit soveltuvat hyvin aluetasolle tehtäviin laskelmiin, mutta nykymuodossa ne ovat liian yksityiskohtaisia maapalloa koskeviin laskelmiin.

Latvusaukkomallien hyvänä puolena on laskelmien realistisuus suhteessa mitattuun tietoon. Mallien heikkoutena on jäykkyys ilmastotekijöiden vaihtelun suhteen, joskin nämä mallit ovat huomattavasti herkempiä ja hienosyisempiä kuin Holdridgen malli. Tällä hetkellä kehitys kulkee kohti fysiologisia malleja, jotka soveltuvat myös suuralueita koskevien pitkän aikavälin laskelmien laatimiseen. Fysiologiset mallit ovat luonteeltaan mekanistisia siten, että ilmastotekijät ohjaavat puiden perusaineenvaihduntaa, jonka avulla edelleen mallinnetaan puiden populaatiodynamiikka. Ilman tällaisia malleja ei esimerkiksi ilman hiilidioksidipitoisuuden sekä ravinteiden ja veden saatavuuden keskinäisiä vaikutuksia metsien kasvuun voida ymmärtää ja ennustaa. Tällaiset mallit ovat herkkiä ilmastotekijöille mutta rakenteeltaan monimutkaisia ja siten ennustamiseen vielä heikosti soveltuvia.

### 3 Ilmaston muuttuminen ja kasvuolosuhteet

Hiilidioksidipitoisuuden nousun arvioidaan yksinään merkitsevän noin  $1,3 \text{ W/m}^2$  säteilypakotetta. Muut kasvihuonekaasut ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , CFC-yhdisteet) lisäävät säteilypakotetta  $0,9 \text{ W/m}^2$ . Muut kasvihuonekaasut puolitoistakertaistavat hiilidioksidin vaikutuksen: olossäteily vähenee jo tällä hetkellä määrällä, joka vastaa 410 ppm:n hiilidioksidipitoisuutta. Muiden kasvihuonekaasujen pitoisuudet kasvavat nopeammin (vuotuinen lisäys: 0,8-1,0 %  $\text{CH}_4$ , 0,2 %  $\text{N}_2\text{O}$ , 4,0 % CFC-11 ja 7,0 % CFC-12) kuin hiilidioksidin (lisäys 0,3 %/vuosi). Säteilypakote näyttää kaksinkertaistuvan vuosien 2030 ja 2050 välillä (Harrington 1987).

Maapallon keskilämpötilan odotetaan kohoavan  $3\text{--}5 \text{ }^\circ\text{C}$ :lla hiilidioksidipitoisuuden kaksinkertaistumisen seurauksena (kuva 2). Lämpötilan arvioidaan kasvavan eniten ( $5\text{--}6 \text{ }^\circ\text{C}$ ) napa-alueilla ja vähiten ( $< 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ) päiväntasaajalla. Suomessa



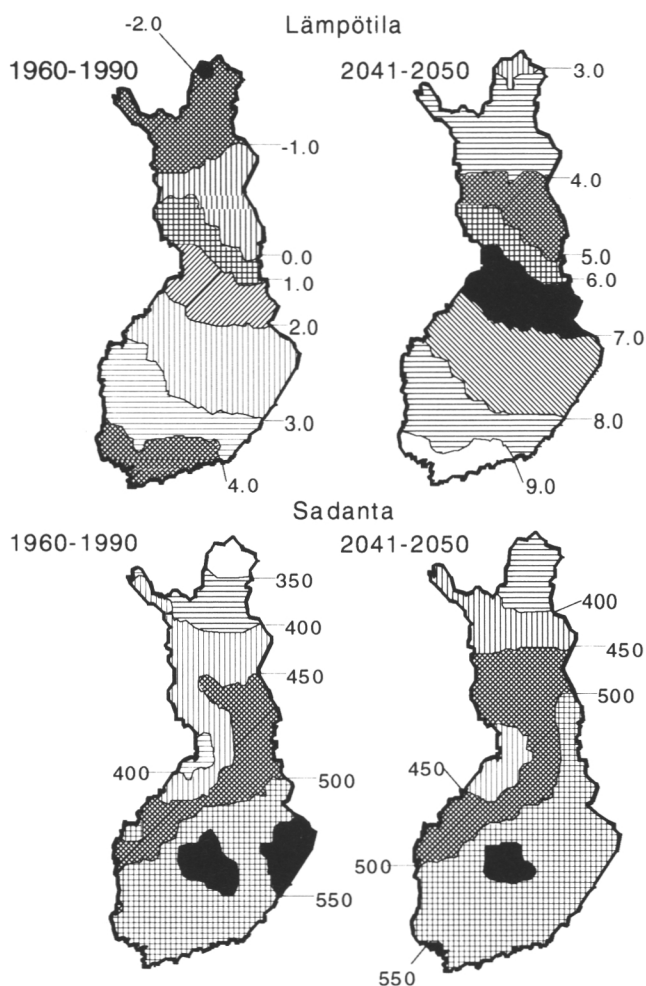
Kuva 2. Maapallon keskilämpötilan vuosien 1861–1989 muutos verrattuna vuosien 1951–1980 keskiarvoon (Parry 1990).

lämpötila kohoaisi talvikuukausina 7–8 °C:lla ja kesäkuukausina 2–3 °C:lla. Samalla kasvukausi (niiden päivien lukumäärä, jolloin vuorokauden keskilämpötila > 5 °C) pidentyisi Helsingin seudulla 170 päivästä 210–220 päivään ja Oulun seudulla 145 päivästä 190–200 päivään. Tämä merkitsisi tehoisan lämpötilan summan kohoamista Helsingin seudulla 1 300 d.d. °C-yksiköstä 1 700 d.d. °C-yksikköön ja Oulun seudulla 1 000 d.d. °C-yksiköstä 1 500 d.d. °C-yksikköön (Kettunen ym. 1987). Maan pintakerrokset (syvyys < 10 cm) lämpenevät likimain samassa suhteessa kuin ilma (kuva 3).

Maapallon kokonaissademäärän odotetaan kohoavan 7–16 %, erityisesti mantojen merellisimmissä osissa (Wigley ym. 1980). Suomessa vuotuisen sademäärän arvioidaan kasvavan 20–30 % (Kettunen ym. 1987). Myös Harrington (1987) olettaa talvikuukausien sadannan kasvavan Pohjoismaissa, mutta hän arvioi kesäkuukausien sadannan vähentyvän. Myös vuosisadannan jakautuminen vesisateeseen ja lumisateeseen voi muuttua: Kuusiston (1990) mukaan lumisateen osuus vuosisadannasta vähenee Lounais-Suomessa 30 %:sta 10 %:iin sekä Lapissa 50 %:sta 35 %:iin. Yhtenäisen lumipeitekauden pituus lyhenisi Etelä-Suomessa neljästä, viidestä kuukaudesta yhteen, kahteen kuukauteen sekä Lapissa seitsemästä kuukaudesta neljään. Erityisesti Pohjois-Suomen talvet muuttuvat voimakkaasti, jos ilmasto lämpenee odotetulla tavalla.

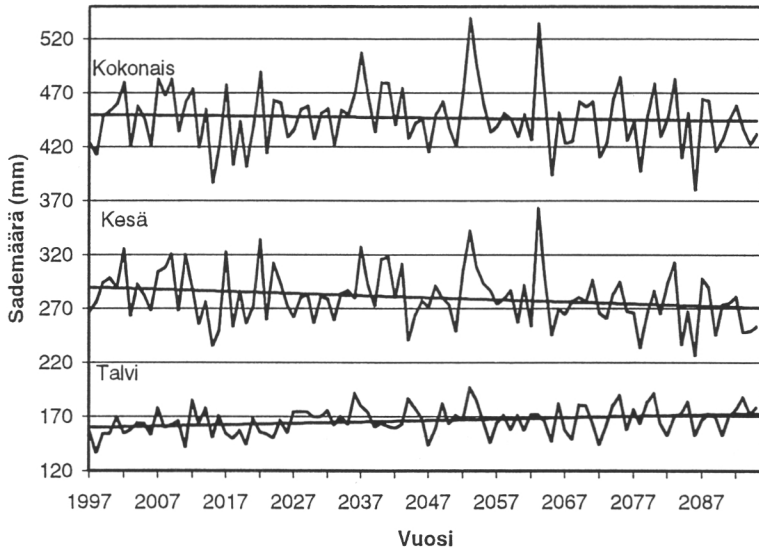
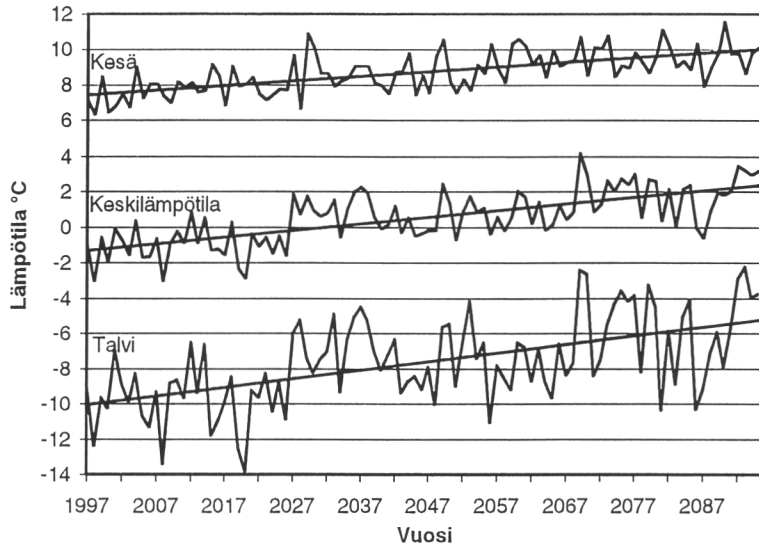
Vaikka ilmasto näyttää muuttuvan lämpimämmäksi ja kostemmaksi, on kuitenkin mahdollista, että mantojen sisäosissa maan kosteus kesäisin vähenisi, erityisesti keskisillä ja korkeilla leveysasteilla, kuten Pohjois-Amerikassa, Länsi-Euroopassa, Pohjois-Kanadassa ja Siperiassa. Samalla subtrooppiset kuivuusvyöhykkeet saattavat siirtyä molemmilla pallonpuoliskoilla kohti napoja. Myös Skandinavian mantojen sisäosissa maan kosteus voi pienentyä 20–30 %, jos kesäsateet vähenevät ja haihdunta voimistuu (Harrington 1987). Myös Pohjois-Suomessa voimistuva haihdunta voi vähentää maan kosteutta, erityisesti lajittuneilla kangasmailla (Kellomäki 1995).

Säätekijöiden vuotuinen muutos vain raamittaa odotettavissa olevia muutok-



Kuva 3. Suomen lämpö- (ylempi kuva) ja sadesuhteet (alempi kuva) nyt (1961–1980) ja ilmaston lämmentyä. Tulevaa tilannetta koskeva ennuste on laadittu Strandmanin ym. (1993) kehittämällä ilmastosimulaattorilla olettamalla, että lämpötilan ja pilvisyyden ja siten sadannan nykyiset suhteet säilyvät myös tulevaisuudessa. Ainoastaan vuoden keskilämpötilan on annettu muuttua siten, että se vuonna 2050 on 3 °C korkeampi kuin vuonna 1990.

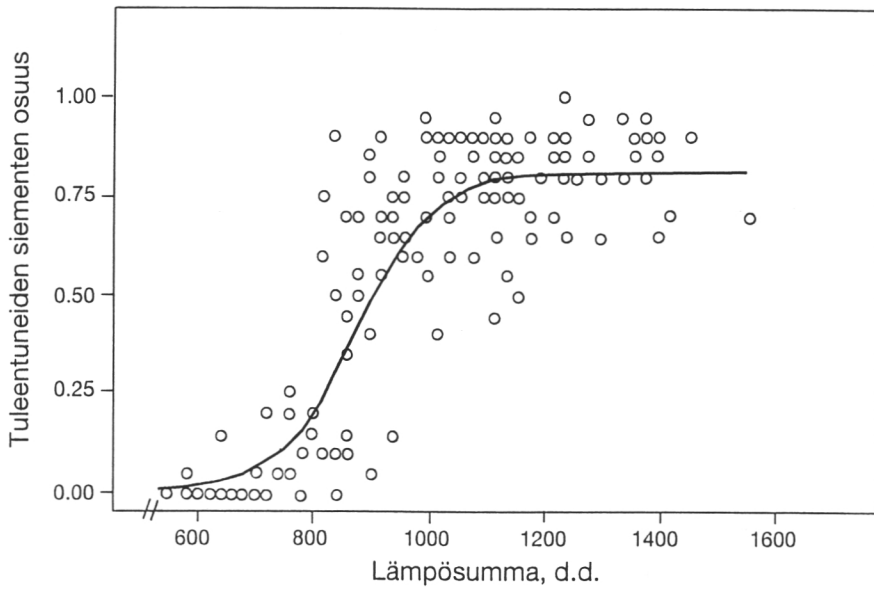
sia. Ilmaston lämmentessäkin saattavat kesät ja talvet olla kylmiä, jos kohta lämpimät kesät ja talvet yleistyvät (kuva 4). Myös pilvettömiä ja aurinkoisia kesiä voi esiintyä, vaikka pilvisuus ja sadanta lisääntyisivät ilmaston lämmentessä. Trendimäisten muutosten lisäksi puiden vasteisiin vaikuttaa suuresti myös se, kuinka muutokset jakautuvat eri vuodenaikojen kesken ja miten muuttuva ilmasto yksilöityy vuorokautiseksi vaihteluksi. Monet puiden fysiologisista vasteista (esim. fotosynteesi, hengitys) ovat ilmastotekijöiden suhteen niin epälineaarisia, että vain lyhyen aikavälin vaihtelu huomioon ottaen voidaan saada harhattomia arvioita ilmastonmuutoksen vaikutuksista.



Kuva 4. Mallilaskelmia säätilan kehityksestä Sodankylässä vuoteen 2100 mennessä olettaen, että ilmasto lämpiää 4 °C ja lämpötilan ja pilvisyyden sekä pilvisyyden ja sadannan väliset suhteet säilyvät nykyisellään. Laskelmaan käytetyn mallin ovat kuvanneet Strandman ym. (1993).

#### 4 Ilmastonmuutoksen vaikutus metsien uudistumiseen

Männyn pohjoinen metsänraja sijoittuu alueille, missä on riittävästi lämpöä siementen muodostua ja kypsyä (Henttonen ym. 1986) (kuva 5). Tämän vuoksi ilmaston lämpiäminen nopeuttaa ja varmistaa Pohjois-Suomen metsien uudistumis-



Kuva 5. Männyn anatomisesti tuleentuneiden siementen määrän ja tehokkaan lämpösumman (kynnysarvo +5 °C) välinen riippuvuus (Henttonen ym. 1986).

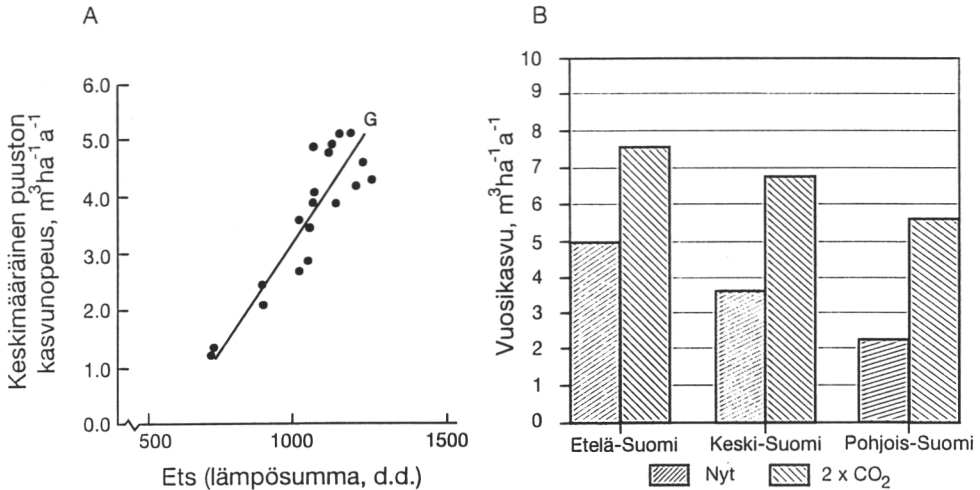
ta, oli kysymyksessä luontainen uudistaminen tai metsänviljely. Väitettä tukevat mm. analyysit, joissa männyn siementen tuleentuminen rinnastetaan vuotuisen kasvukauden lämpösummaan ja sen vaihteluun (Pukkala 1985):

- jos lämpösumma saavuttaa arvon 900 d.d. °C, niin männyn siemenistä tuleentuu puolet (50 %),
  - jos lämpösumma saavuttaa arvon 750 d.d. °C, niin männyn siemenistä tuleentuu vähän (< 10 %) tai ei lainkaan; ja
  - jos lämpösumma saavuttaa arvon 1 050 d.d. °C, niin männyn siemenistä tuleentuu lähes kaikki;
- jossa vaihteluväli  $\pm 150$  d.d. °C edustaa lämpösumman keskimääräistä vuotuista vaihtelua.

Männyn metsärajaalla keskimääräinen lämpösumma on noin 600 d.d. °C. Jos ilmasto lämpimää, olisi keskimääräinen lämpösumma samoilla alueilla noin 1 200 d.d. °C. Tämän seurauksena yhtenäiset mäntymetsät laajenisivat pohjoista kohti, kuten tapahtui 1920- ja 1930-luvuilla usein toistuvien lämpimien kasvukausien seurauksena (Hustich 1948). Myös kohoava hiilidioksidipitoisuus todennäköisesti lisää siemensatoa ja parantaa sen laatua (Oechel ja Strain 1985). Myös metsäpuiden uudistumisen ja lämpöolojen välisiä suhteita kuvaavilla malleilla tehdyt laskelmat viittaavat mahdollisuuteen, että ilmaston lämpeneminen voi nopeuttaa luontaista uudistamista (Kellomäki ym. 1988). Täystiheän taimikon (taimia > 2 000 kpl hehtaarilla kymmenen vuoden kuluttua uudistamishakkuusta) syntymistodennäköisyys kasvaa erityisesti Pohjois-Suomessa.

## 5 Ilmastonmuutoksen vaikutus metsien kasvuun

Pohjois-Suomessa männyn läpimitan kasvu riippuu kiinteästi kesän lämpöoloista: mitä lämpimämpi kesä, sitä leveämmät vuosilustot. Myös männyn pituuskasvu ja neulasten lukumäärä versoissa riippuvat kasvukauden lämpöoloista (edellisen kasvukauden lämpötilasta, jolloin päätesilmu muodostuu). Lämpöolojen vaikutus voimistuu pohjoista kohden siten, että metsärajametsissä männyn sädekasvu korreloi kiinteästi heinäkuun keskilämpötilan kanssa (Mikola 1950). Kauppi ja Posch (1985) laativat regressiomallin lämpösumman ja puiden tilavuuskasvun välille. Mallin aineistoina olivat Ilmatieteen laitoksen tuottamat ilmastotiedot ja Metsäntutkimuslaitoksen tuottamat puustotiedot. Laskelmat osoittivat, että ilmaston lämpeneminen voisi lisätä puuston kasvua Etelä-Suomessa 2,6 m<sup>3</sup>/ha/a (52,9 %), Keski-Suomessa 3,0 m<sup>3</sup>/ha/a (81,4 %) ja Pohjois-Suomessa 3,3 m<sup>3</sup>/ha/a (141,5 %) (kuva 6). Etelä-Suomessa männyn kasvu korreloi myös kasvukauden sademäärän kanssa, karuilla kasvupaikoilla jopa kiinteämmin kuin lämpöolojen kanssa (Henttonen 1984).



Kuva 6. Ilmaston lämpenemisen vaikutus puuston vuosikasvuun Suomessa Kaupin ja Poschin (1985) mukaan. Selitykset: A)  $G = a \cdot \text{ETS} - b$ , jossa  $G$  puuston vuotuinen kasvu m<sup>3</sup>/ha/a,  $a = 0,0066135$ , ETS lämpösumma d.d. (kynnyslämpötila 5 °C) ja  $b = 3,61157$ , B) lämpösumma Etelä-Suomessa nyt 1 300 d.d. °C, ilmaston lämmettyä 1 700 d.d. °C, Keski-Suomessa nyt 1 100 d.d. °C, ilmaston lämmettyä 1 550 d.d. °C ja Pohjois-Suomessa nyt 900 d.d. °C, ilmaston lämmettyä 1 400 d.d. °C.

Myös ilman hiilidioksidipitoisuuden kasvun arvellaan lisäävän pohjoisten metsien kasvua. D'Arrigo ym. (1987) tutkivat valkokuusen sädekasvun riippuvuutta ilman hiilidioksidipitoisuudesta Pohjois-Amerikan metsärajametsissä Alaskassa vuosina 1971–1982. He tulkitsivat sädekasvun ja hiilidioksidipitoisuuden välisen positiivisen korrelaation osoittavan, että korkeampi hiilidioksidipitoisuus lisäisi

metsärajametsien kasvua. Myös Arovaara ym. (1984) sekä Kauppi ja Posch (1985) pitävät todennäköisenä, että Suomen metsien kasvun nopeutuminen viime vuosina saattaisi olla yhteydessä ilman hiilidioksidipitoisuuden nousuun.

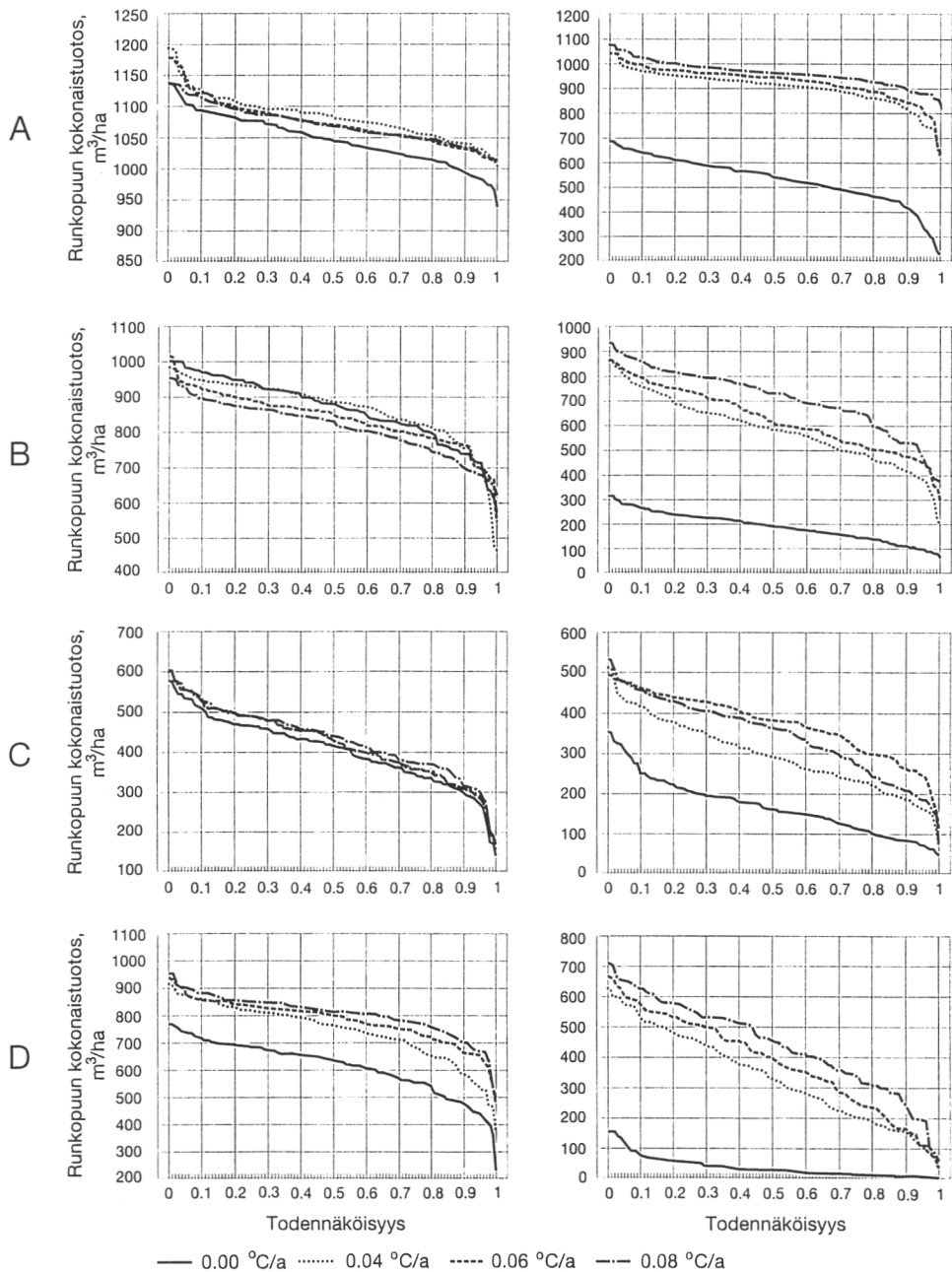
Pohjoisissa olosuhteissa kasvua rajoittavat usein myös käyttökelpoisten ravinteiden niukkuus, maan kylmyys tai liiallinen kosteus. Ilmaston lämpeneminen saattaa tämän vuoksi lisätä kasvua epäsuorasti: ravinteiden kierto nopeutuu ja saataavuus paranee, kun maa kuivahtaa ja lämpenee. Tähän viittaavat mm. Kellomäen ja Kolströmin (1993) tekemät mallilaskelmat, joissa lämpötila ja sadanta vaikuttivat sekä suoraan (lämpösunnan kautta) että epäsuoraan (ravinnekierron ja maan kosteuden kautta) puiden kasvuun (kuva 7). Männyn, kuusen ja hieskoivun kasvu nopeutui ja kasvun kulminoituminen aikaistui. Suurin muutos tapahtui kuitenkin rauduskoivun kasvussa: laji vakiinnutti asemansa ja kasvoi Lapissa lähes yhtä hyvin kuin hieskoivu, joskin rauduskoivun tuottavuuteen sisältyi enemmän epävarmuutta kuin muiden puulajien tuottavuuteen. Männyn kokonaistuotos kohosi noin 80 %:iin arvosta, jonka mänty nykyilmaston vallitessa saavuttaa Etelä-Suomessa. Vastaaavat arvot kuuselle, rauduskoivulle ja hieskoivulle olivat 60 %, 40 % ja 80 %. Laskennan osoittama muutos vastasi hyvin Kaupin ja Poschin (1985) aiemmin esittämiä arvioita. Todella suuret muutokset kasvussa olisivat kuitenkin epätodennäköisiä, vaikkakin suurella riskillä mahdollisia.

## 6 Poistuma

Puita voi kuolla jo satunnaisesti esiintyvien myrskyjen tai metsäpalojen seurauksena. Myrskytuhot ovat kaikkein yleisimpiä sulan maan aikana, joten ilmaston lämpeneminen luultavasti lisäisi myrskytuhoja. Muutos olisi tässä suhteessa suurinta Pohjois-Suomessa. Samalla lumisateiden osuus vuosisadannasta saattaa vähentyä (Kuusisto 1990), joten lumituhot eivät välttämättä yleisty nykyisilläkään lumituhoalueilla. Suomessa luonnonkuloja on suhteellisen harvoin. Haapanen ja Siitonen (1978) totesivat, että Ulvinsalon luonnonpuistossa kulo toistui metsäkuviolla keskimäärin 80 vuoden välein. Koska kesät ilmaston muuttuessa todennäköisesti lämpenevät ja haihdunta lisääntyy, on mahdollista, että kuloriski kuitenkin kasvaa kaikkialla Suomessa.

Puiden yleisin kuolinsyy on kuitenkin elintoimintojen hidastuminen tai abiootisten tuhojen seurauksena puhkeava hyönteis- tai sienituho (taulukko 1). Kasvu-kauden korkea lämpötila ja kuivuus suosivat hyönteisten esiintymistä. Ytimenävertäjien parveilu alkaa Keski-Euroopassa alhaisemmassa lämpötilassa (noin +8 °C) kuin Suomessa (noin +11 °C), samalla kun hyönteissukupolvien lukumäärä lisääntyy etelää kohti. Myös kirjanpainajat ja tukkimiehentäi hyötyvät lämpimistä ja kuivista kesistä. Tämän vuoksi tukkimiehentäituhot saattavat lisääntyä tulevaisuudessa myös Pohjois-Suomessa (Heikkilä 1981).

Myös monet tuhositiet yleistyvät ja niiden epidemiat jatkuvat, jos useat peräkkäiset kasvukaudet ovat sateisia ja viileitä sekä talvet leutoja. Tällaisia lajeja ovat esimerkiksi männynversosurma (Aalto-Kallonen ja Kurkela 1985) ja männyn-



Lämpötilan vuotuinen nousu

Kuva 7. Ilmaston muutoksen vaikutus A: männikön, B: kuusikon, C: hieskoivikon ja D: rauduskoivikon kokonaistuotukseen 160 vuoden aikana siten, että vasemmalla puolen on Etelä-Suomen (Tampereen seutu) ja oikealla puolella Pohjois-Suomen (Rovaniemen seutu) arvot. Laskelmat on tehty keskiyhvälle kasvu-paikalle. Puuston lähtöiheys oli kussakin tapauksessa 2 500 taimia hehtaarilla ja taimien lähtöpituus 20 cm. Laskelmissa sadanta vastasi nykysadantaa. Laskelmaan käytetyn mallin ovat kuvanneet Kellomäki ym. (1992).

harmaakariste (Jalkanen 1986). Ilmastonmuutos näyttää suosivan erityisesti niitä tuhosieniä, joiden lisääntymistä lauhdat ja kosteat talvet nopeuttavat. Myös sateiset ja lämpimät kesät saattavat lisätä sienituhojen riskiä. Tässä suhteessa Pohjois-Suomi on riskialuetta, sillä näissä oloissa ilmasto todennäköisesti muuttuu voimakkaasti: lämpimäksi ja sateiseksi, erityisesti talvella.

Myös pakkastuhojen riskin on arveltu lisääntyvän ilmaston lämpiämisen myötä, kuten mallilaskelmat viittaavat. Näissä laskelmissa puiden pakkasen kestävyyttä verrattiin vallitseviin lämpötiloihin päivän aika-askeleella ympäri vuoden. Jos pakkasen kestävyys oli pienempi kuin vallitseva lämpötila, puiden kuoleminen todennäköisyys kasvoi. Erityisesti vanhoissa metsissä hitaasti kohoava lämpötila lisäsi voimakkaasti luontaista poistumaa (kuva 8). Myös nuorissa metsissä luontainen poistuma lisääntyi, mutta niissä kuoli lähinnä vain jo muutoinkin heikosti kasvavia ja kuolevia puita. Laskelmat osoittivat, että ilmaston lämpiäminen voi lisätä metsien kasvua, mutta metsätuhojen riski on samalla suuri.

## 7 Ilmaston muutoksen vaikutukset pitkällä aikavälillä

Metsäekosysteemin dynamiikan muuttuminen vaikuttaa vähitellen metsäekosysteemin perusrakenteeseen, mm. muuttaa puulajisuhteita. Varsinkin levinneisyysalueen äärirajoilla elävien lajien kilpailukyky muuttuu (Cannell ym. 1989). Esimerkiksi männyn levinneisyys ulottuu Etelä-Espanjaan saakka. Tämän vuoksi metsien puulajisuhteiden muutos on luultavasti hidaskin, joten nykyiset puulajit muodostaisivat muuttuneenkin ilmaston vallitessa pääosan puustosta. Pohjois-Suomessa puiden levinneisyysalue yhtenäisinä metsikköinä saattaisi kuitenkin laajeta ja metsänraja siirtyä nykyistä pohjoisemmaksi.

Taulukko 1. Arvio siitä, mitkä metsäpuita tuhoavat hyönteis- ja sienilajit hyötyä muuttavasta ilmastosta (Kanninen 1992).

---

### Lajit, joiden aiheuttamien tuhojen riski saattaa lisääntyä

**Hyönteiset:** punalatikka, tukkimiehentäi, ytimennävertäjä, kirjanpainaja, kuusentähtikirjaaja, ruskomäntypistiäinen, pilkkumäntypistiäinen, mäntymittari, mänty-yökkönen, mäntykehrääjä.

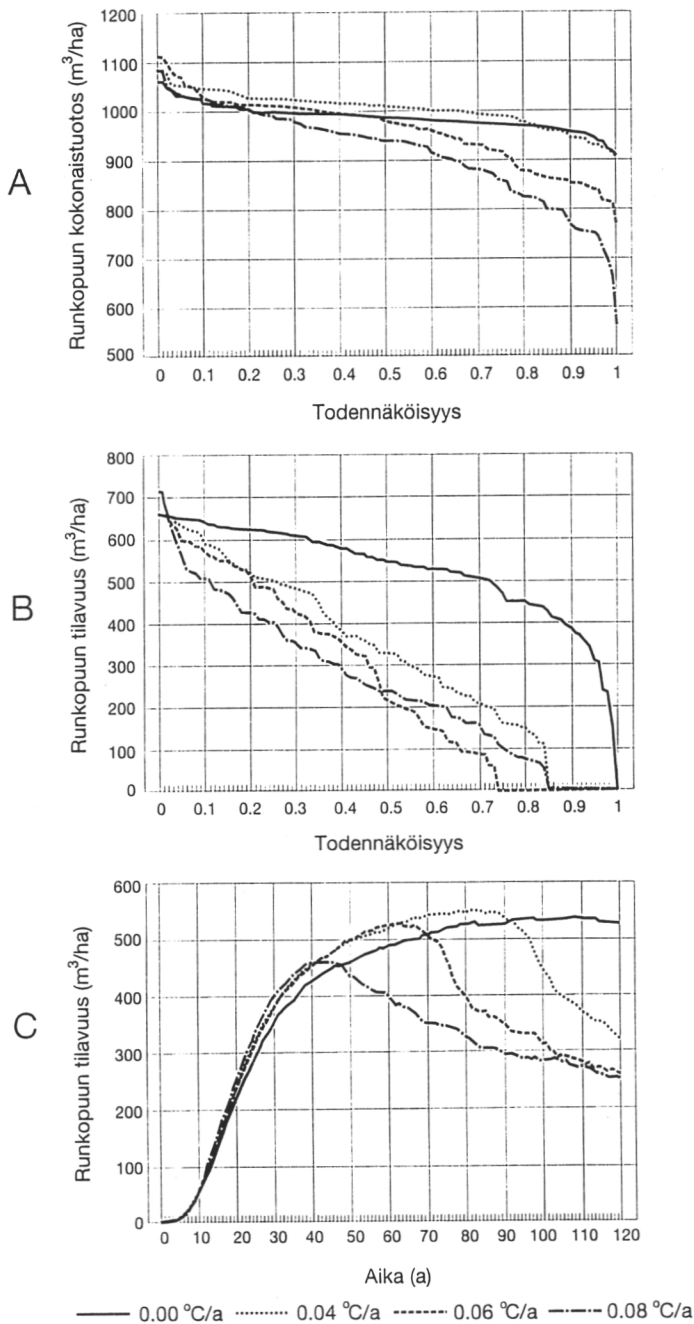
**Sienet:** juurikäpälä, männynmesisieni.

### Lajit, jotka saattavat yleistyä tai levitä Suomeen

**Hyönteiset:** jalavan mantokuoriaiset, kudospistiäinen, havununna, lehtinunna.

**Sienet:** jalavatauti.

---

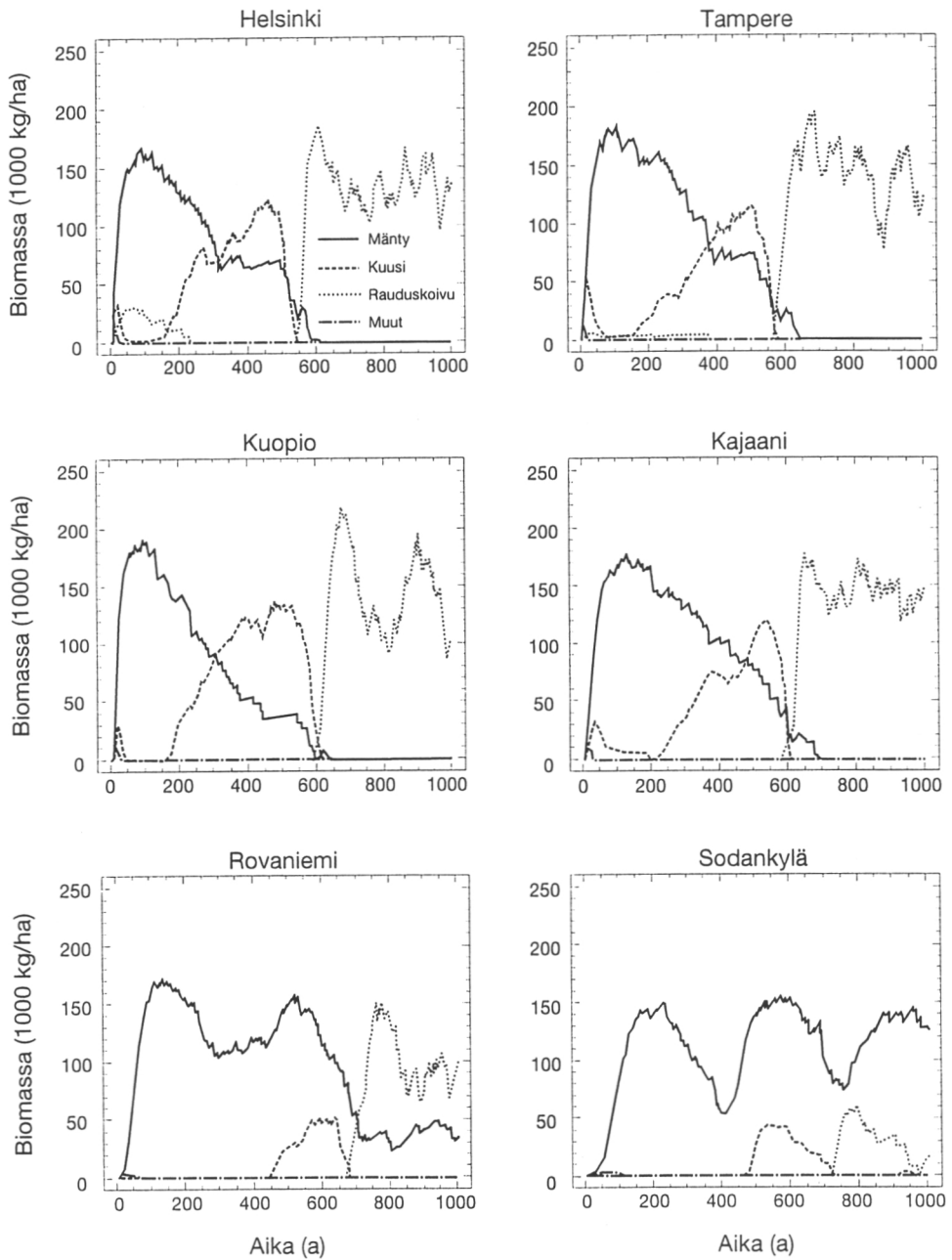


Kuva 8. Simuloituja tuloksia siitä, miten pakkastuhot voivat ilmaston lämmetessä vaikuttaa männikköön Etelä-Suomessa. A: puuston kokonaistuotos 100 vuoden aikana olettaen, että pakkasvaurioita ei tapahdu; B: puuston kokonaistuotos 100 vuoden aikana olettaen, että pakkasvaurioita voi tapahtua; C: sama kuin kuvassa B, mutta aikasarjana (Kellomäki ym. 1993). Laskelma on tehty Kellomäen ym. (1992) kuvaamalla mallilla.

Myös Dahlin (1990) laskelmat ilmaston lämpenemisen vaikutuksesta kuusen levinneisyyteen viittaavat tähän mahdollisuuteen. Näiden laskelmien mukaan kuusi saattaisi hävitä lähes kokonaan Keski-Euroopasta siten, että tämän lajin painopiste siirtyisi Pohjois-Venäjälle. Ennustetta tukevat siitepölyanalyysit metsien puulajisuhteiden kehityksestä jääkauden jälkeen. Lämpiminä sääjaksoina lehtipuut ja osittain myös mänty yleistyivät ja kuusi perääntyi. Viileinä ja kosteina sääjaksoina lehtipuut perääntyivät etelään samalla, kun kuusi yleistyi. Metsien puulajisuhteiden selvään muutokseen viittaavat myös Kellomäen ja Kolströmin (1992) tekemät laskelmat. Näissä simuloinneissa annettiin sekametsikkönä alkaneen kehityksen jatkoa 400 vuotta nykyilmaston vallitessa. Tämän jälkeen annettiin ilmaston lämmetä 100 vuoden aikana 2 °C ja tämän jälkeen 200 vuoden aikana toiset 2 °C. Metsä sai kaikissa vaiheissa kehittyä luontaisesti ilman käsittelyä (kuva 9).

Ilmaston lämpiämisen alkaessa puusto oli Etelä-Suomessa mäntysekoitteista kuusikkoa, joukossa muutamia koivuja. Lämpiämisen edetessä havupuiden kasvu taantui, ja ne hävisivät äkisti ensimmäisen lämpiämisyksikön lopussa. Koivut, erityisesti rauduskoivut, valtasivat kuitenkin nopeasti vapautuneen kasvutilan, ja toisen lämpiämisyksikön aikana koivut vakiinnuttivat asemansa ja puustoista tuli lähes yksinomaan lehtipuuvaltaisia. Sama kehityskulku toistui keskisessä Suomessa, mutta tässä tapauksessa kehitys oli hitaampaa. Myös simulointiyksikön loppupuolella havupuut edustivat selvästi suurempaa osuutta kuin eteläisimmässä Suomessa. Pohjois-Suomessa kuusen ja lehtipuiden osuudet kasvoivat, mutta mänty säilyi edelleenkin valtapuuna. Männyn merkitys oli sitä suurempi, mitä pohjoisemmasta alueesta oli kysymys. Mänty levittäytyi myös nykyisen puurajan yläpuolelle. Myös kuusta alkoi esiintyä näissä metsissä simulointiyksikön lopussa. Nykyisen metsärajan yläpuolella olevat kasviyhdykunnat tulisivat täten muuttumaan hyvin voimakkaasti.

Kellomäen ja Kolströmin (1992) tulokset ovat sopusoinnussa Emanuelin ym. (1985) sekä Kaupin ja Poschin (1985) tulosten kanssa. Kaikki nämä laskelmat osoittavat, että ilmaston lämmettyä boreaalista havumetsää esiintyisi vain Pohjois-Suomessa, ja Etelä-Suomen metsät tulisivat edustamaan lehtimetsävyöhykettä. Suomeen tuskin tulisi kuitenkaan uusia puulajeja kovin nopeasti ilman viljelyä, sillä puulajien luontainen siirtyminen on erittäin hidasta. Pohjois-Euroopan tärkeimmät puulajit vaelsivat edellisen jääkauden jälkeen korkeintaan 1500 m vuodessa (Huntley ja Birks 1983) siitäkään huolimatta, että ihminen saattoi edistää niiden leviämistä. Etelä-Suomessa harvinaisina kasvavat lehtipuut: metsälehmus, vaahtera, jalava, pähkinäpensas, saarni, tammi, metsäomenapuu, suomenpihlaja ja ruotsinpihlaja saattaisivat kuitenkin yleistyä ja levittäytyä pohjoista kohti ilmaston lämpiämisen myötä.



Kuva 9. Puuston luontainen kehitys nykyilmaston (ensimmäiset 400 vuotta) ja muuttuvan ilmaston (ensin 100 vuoden aikana 4 °C:n nousu ja tämän jälkeen seuraavat 500 vuotta muuttuneen ilmaston vallitessa) aikana Suomen eri osissa. Laskelmat on tehty Kellomäen ym. (1992) kuvaamalla mallilla. Laskennan lähtökohtia on selostettu lisää tekstissä.

## 8 Päätelmiä

Koko maapalloa koskevat laskelmat osoittavat, että pohjoiset havumetsät voivat työntyä pohjoista kohti, jos ilmasto lämpenee ennustetulla tavalla. Myös Pohjois-Suomeen kohdistetut laskelmat osoittavat, että Lapin luonto kokisi perusteellisen muutoksen, joka kertautuisi metsäekosysteemin kaikilla tasoilla. Varsinaisia havumetsiä olisi Suomessa vain Lapissa, ja metsärajan yläpuoliset kasvivyhdyskunnat häviäisivät. Samalla metsien uudistuminen helpottuisi ja kasvu nopeutuisi. Tähän mahdollisuuteen liittyy kuitenkin monia riskejä. Varsinkin toisenvaraisten eliöiden reagointi ilmastomuutokseen on vielä arvailujen varassa. Hyönteispopulaatiot saattavat reagoida melko välittömästi kohoavaan lämpötilaan ja lisääntyvään sadantaan. Myös selkärangaispopulaatioissa voi tapahtua ilmastoon välittömästi liittyviä muutoksia. Pitkällä aikavälillä monet nykyisin harvinaiset eliöt voivat runsastua samalla, kun taas monet nykyisin yleiset eliöt voivat harvinaistua tai jopa hävitä. Myös uudet eliölajit voivat muuttaa luonnon tasapainoa. Pohjoinen lajisto on todennäköisesti vaarassa, samalla kun eteläisten lajien levinneisyysalue laajenee pohjoista kohti. Kaikki nämä tapahtumat ovat vaikeasti ennustettavissa ja luovat epävarmuutta siitä, miten Lapin metsät kehittyvät ilmaston muuttuessa.

## Kirjallisuus

- Aalto-Kallonen, T. & Kurkela, T. 1985. Gremmeniella disease and the site factors affecting the condition and growth of Scots pine. *Seloste: Versosyöpätauti ja ympäristö männyn kuntoon ja kasvuun vaikuttavina tekijöinä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 126: 1–28.
- Arovaara, H., Hari, P. & Kuusela, K. 1984. Possible effect of changes in atmospheric composition and acid rain on tree growth. An analysis based on the results of Finnish national forest inventories. *Seloste: Ilmakehän ominaisuuksien muutosten ja happaman laskeuman mahdollinen vaikutus puuston kasvuun. Valtakunnan metsien inventointiin perustuva analyysi. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 122. 16 s.
- D'Arrigo, R., Jacoby, G.C. & Fung, I.Y. 1987. Boreal forests and atmosphere-biosphere exchange of carbon dioxide. *Nature* 329: 321–323.
- Cannell, M.G., Grace, J. & Booth, A. 1989. Possible impacts of climatic warming on trees and forests in the United Kingdom: a review. *Forestry* 62(4): 337–364.
- Dahl, H. 1990. Probable effects of climatic change due to the greenhouse effect on plant productivity and survival in North Europe. *Julkaisussa: Holten J.I. (toim.). Effect of climatic change on terrestrial ecosystems. Report from a seminar in Trondheim 16.01.1990. Norsk Institutt for Naturforskning. Notat 00 4: 7–18.*
- Emanuel, W.R., Shugart, H.H. & Stevenson, M.P. 1985. Climatic change and the broad-scale distribution of terrestrial ecosystem complexes. *Climatic Change* 7: 29–43.
- Haapanen, A. & Siitonen, P. 1978. Kulojen esiintyminen Ulvinsalon luonnonpuistossa. Summary: Forest fires in Ulvinsalo strict nature reserve. *Silva Fennica* 12(3): 187–200.
- Harrington, J.B. 1987. Climatic change: a review of causes. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 1313–1339.
- Heikkilä, R. 1981. Männyn istutustaimikoiden tuhot Pohjois-Suomessa. Summary: Damage in Scots pine plantations in northern Finland. *Folia Forestalia* 497. 22 s.
- Henttonen, H. 1984. The dependence of annual ring indices on some climatic factors. *Acta Forestalia Fennica* 186. 38 s.

- , Kanninen, M., Nygren, M. & Ojansuu, R. 1986. The maturation of Scots pine seeds in relation to temperature climate in northern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 1: 243–249.
- Holdridge, L.R. 1967. Determination of world formulations from simple climatic data. *Science* 105: 367–368.
- Huntley, B. & Birks, H.J.B. 1983. An atlas of past and present pollen maps for Europe: 0–13 000 years ago. Cambridge University Press. 428 s.
- Hustich, I. 1948. The Scots pine in northernmost Finland and its dependence on the climate in the last decades. *Acta Botanica Fenniae* 42: 1–75.
- Hänninen, H., Kellomäki, S., Laitinen, K. & Pajari, B. 1993. Timing of height growth onset in northern Scots pines as a response to climatic warming: preliminary results from a field experiment. (käsikirjoitus 17 s).
- Jalkanen, R. 1986. *Lophodermella sulcigena* on Scots pine in Finland. *Seloste: Mäntynharmaakariste Suomessa*. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 136: 1–41.
- Kanninen, M. (toim.). 1992. Muuttuva ilmaskehä. Ilmasto, luonto ja ihminen. VapK-Kustannus. Helsinki. 163 s.
- Kauppi, P. & Posch, M. 1985. Sensivity of boreal forest to possible climatic warming. *Climatic Change* 7(1): 45–54.
- Kellomäki, S. 1993. Computations on the influence of changing climate on the soil moisture and productivity in Scots pine stands in southern and northern Finland. *Climate Change* 29: 35–51.
- , Hänninen, H. & Kolström, T. 1988. Model computations on the impacts of the climatic change on the productivity and silvicultural management of the forest ecosystem. *Silva Fennica* 22(4): 293–305.
- , Hänninen, H. & Kolström, M. 1993. Computations on the effect of climatic warming on growth and development of Scots pine stands in boreal conditions: introducing frost damage of trees in a gap-type forest ecosystem model. *Ecological Application* 5: 42–52.
- & Kolström, M. 1992. Simulation of tree species composition and organic matter accumulation in Finnish boreal forests under changing climatic conditions. *Vegetatio* 102: 47–68.
- & Kolström, M. 1993. Computations on the productivity of Scots pine, Norway spruce, Pendula birch, Pubescent birch in southern and northern Finland as influenced by changing climate. *Forest Ecology and Management* 65: 201–217.
- , Väisänen, H., Hänninen, H., Kolström, T., Lauhanen, R., Mattila, U. & Pajari, B. 1992. A model for the succession of the boreal forest ecosystem. *Silva Fennica* 26: 1–18.
- Kettunen, L., Mukula, J., Pohjonen, V., Rantanen, O. & Varjo, U. 1987. The effect of climatic variations on agriculture in Finland. *Julkaisussa: Parry, M.L., Carter, T.R. & Konijn, N.T. (toim.). The impact of climatic variations on agriculture. Vol. 1. Assesments in cool temperate and cold regions. International Institute for Applied Systems Analysis. 90 s.*
- Kuusisto, E. 1990. Talvi pakenee. *Suomen Luonto* 8/90: 24–26.
- Mikola, P. 1950. Puiden kasvun vaihteluista ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. Summary: On variations in tree growth and their significance to growth studies. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 38(5): 1–131.
- Oechel, W.C. & Strain, B.R. 1985. Native species responses to increased atmospheric carbon dioxide concentration. *Julkaisussa: Strain, B.R. & Cure, J.D. (toim.). Direct effects of increasing carbon dioxide on vegetation. s. 117–154.*
- Parry, M. 1990. *Climate change and world agriculture*. Earthscan Publications Limited. London. IIASA/UNEP. 157 s.
- Pukkala, T. 1985. Luontaisen uudistamisen simulointimalli. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Moniste.
- Schneider, S.H. 1989. The changing climate. *Scientific America* 261(3): 38–47.
- Strandman, H., Väisänen, H. & Kellomäki, S. 1992. A procedure for generating synthetic weather records for assessing ecological impacts of changing climate in boreal conditions. *Ecological Modelling* 70: 195–220.
- Wigley, T.M.L., Jones, P.D. & Kelly, P.M. 1980. Scenario for a warm, high-CO<sub>2</sub> world. *Nature* 283(3): 17–21.

# Lapin metsien kasvun vaihtelu viimeisen 500 vuoden aikana

---

Mauri Timonen  
Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema  
PL 16, 96301 Rovaniemi

## 1 Mitä on metsien kasvun vaihtelu?

*Kasvun vaihtelulla* tarkoitetaan puun kasvumuuttujan yhden tai useamman vuoden jaksoissa tapahtuvaa arvojen heilahtelua normaalitason suhteen (kuva 1). *Normaalitasolla* tarkoitetaan keskimääräisiä ilmasto-olosuhteita kuvaavaa kasvumallia.

Kasvun vaihtelua aiheuttavia tekijöitä ovat (vrt. Mikola 1950, s. 89):

- ilmaston vuotuinen ja pitempikokoinen vaihtelu,
- metsikön sisäiset tekijät kuten tiheys, ikä, asema, kasvupaikka ja siementuotanto,
- ulkoiset tekijät kuten hakkuut, ojitukset, lannoitukset, metsäpalot, myrskyt, hyönteis- ja sienituhot sekä
- puukohtaiset tekijät kuten mekaaniset vauriot ja elinvoimaisuus.

Kasvun vaihtelu voi näkyä satunnaisena tekijänä yksittäisessä puussa. *Ilmastosi-  
gnaalista* puhutaan, jos vaihtelu esiintyy samansuuntaisena lähes kaikissa maan-  
tieteellisen alueen puissa. Tässä yhteydessä kasvun vaihtelulla tarkoitetaan sää-  
tekijöistä johtuvaa puiden kasvun vaihtelua, jolloin puhutaan myös *kasvun ilmas-  
tollisesta vaihtelusta*.

## 2 Millä tavoin kasvun vaihtelu näkyy?

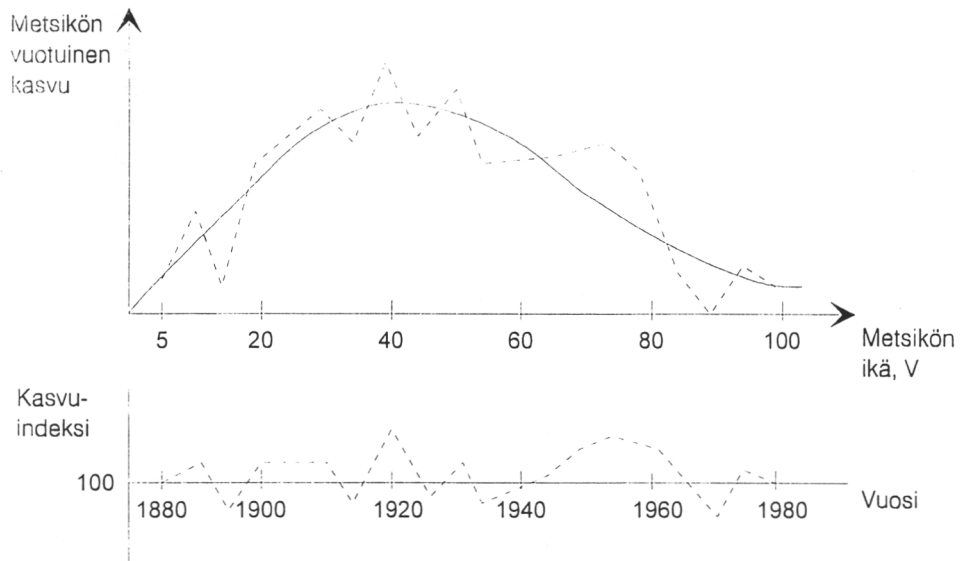
Lapissa on ollut aiemmin mäntymetsiköitä huomattavasti laajemmalla alueella kuin nykyisin. Laajimmillaan ne olivat 7 000–4 000 vuotta sitten, jolloin ilmasto oli 1,5–2 astetta nykyistä lämpimämpi. Noin 5 000 vuotta sitten alkoi vähittäinen kylmeneminen ja metsät ovat peräytyneet vähitellen nykyisen asemaansa (Eronen 1981). Muinaisen säänvaihtelun jäljet näkyvät subfossiilipuissa eri levyisinä vuosi-

lustoina, mikä tarjoaa mahdollisuuden ajoittaa ja analysoida Lapin metsien kehitystä koko holoseenikauden eli viime jääkaudesta alkaneen ajanjakson ajalta.

Männyn ja kuusen metsänrajat liikkuvat heilurinomaisesti ilmastollisten vaihteluiden ohjaamina. Esimerkiksi männyn raja on siirtynyt 1930- ja 1940- lukujen poikkeuksellisen lämpimän jakson ansiosta pohjoisemmaksi ja korkeammalle tunturien rinteillä. Tuona aikana syntyneet puut muodostavat nykyisin ylimmällä metsänrajalla 50–60 -vuotiaita mäntymetsiköitä tai yksittäisiä esiintymiä. Vastavaa ei liene tapahtunut vuosisatoihin, sillä monilla uudistuneilla alueilla ei näy lainkaan merkkejä edellisistä sukupolvista.

Kuluvalla vuosisadalla on ollut lämpimiä ja kylmiä jaksoja, joiden rytmissä Lapin metsien hoitamisesta huolehtivien metsäammattilaisten optimismi ja pessimismi ovat vaihdelleet. Kasvun hiipuminen 55 vuoden aikana noin kolmannekseseen vuoden 1855 tasosta synnytti 1900-luvun alussa yleisen huolen metsänrajan alenemisesta. Erityinen suojametsäkomissio perustettiin 1907 miettimään tilannetta. Renvallin (1912, 1919) ja Heikinheimon tutkimukset (1920, 1921) osoittivat, että huoli oli aiheellinen. Vuonna 1922 säädettiin suojametsälaki estämään metsän rajan alenemista.

Laajat viljelytaimikkotuhot 1960-luvulla ovat hyvä esimerkki siitä, millaisia riskitekijöitä luontaiseen ilmastonvaihteluun liittyy (mm. Timonen ja Pohtila 1980). Lämpimän 1930-luvun jälkeen tuskin kukaan osasi odottaa sellaista ilmaston kylmenemistä kuin tapahtui 1960-luvulla Lapissa.



Kuva 1. *Yläosa.* Metsikön vuotuinen kasvu iän funktiona. Yhtenäinen viiva kuvaa metsikön kehitystä muuttumattomissa ilmasto-olosuhteissa. Kasvu noudattaa biologista iänmukaista rytmiä. Katkoviiva kuvaa kasvua vaihtelevissa ilmasto-oloissa. Suotuisina kesinä kasvu on keskimääräistä parempi, ja epäsuotuisina vastavasti keskimääräistä huonompi. *Alaosa.* Yläkuvan tilannetta kuvaava vuosilusto-indeksisarja. Kasvun iänmukainen riippuvuus on eliminoitu.

### 3 Mitä pitkistä aikasarjoista tutkitaan?

Ilmaston vaihteluista aiheutuvien kasvun minimiolosuhteiden tunteminen ja huomioon ottaminen vähentävät metsätalouden suunnittelun riskejä. Toistaiseksi tutkimuksissa on keskitytty pääasiassa lyhytaikaisten, viime vuosien ja vuosikymmenten, kasvunvaihteluiden selvittämiseen. Kunnollisia pitkän aikavälin (> 150 v.) vertailusarjoja on ollut niukasti saatavilla.

Kasvun pitkäaikaisia vaihteluita ovat selvittelleet satojen vuosien aikajänteellä Mikola (1952), Sirén (1961) sekä Sirén ja Hari (1971). Eronen (1981, 1991) sekä Eronen ja Zetterberg (1992) ovat laajentaneet aikaperspektiivin koskemaan koko holoseenikautta. Pitkien sarjojen odotetaan vastaavan muun muassa seuraaviin kysymyksiin:

- Minkä luonteista oli muinainen kasvun vaihtelu?
  - Onko peräkkäisten vuosien vaihtelussa tapahtunut muutoksia, esimerkiksi äärevöitymistä?
  - Millaisia trendinomaisia tai jaksoittaisia kehitysvaiheita esiintyy lustosarjoissa?
- Miten metsäpalot vaikuttivat metsien uudistumiseen?
- Miten laajalle muinaiset mäntymetsät levittäytyivät Lapissa?
- Miten 1900-luvun kasvunvaihtelu poikkeaa menneiden vuosituhansien vaihtelusta?

Kysymyksiin voitaneen vastata yksityiskohtaisesti vasta muutaman vuoden päästä, jolloin ADVANCE-10K -projektin puitteissa kerätyn alueellisesti ja ajallisesti kattavan tutkimusaineiston pitäisi olla käytettävissä. ADVANCE-10K -projekti (Analysis of Dendrochronological Variability and Associated Natural Climates in Eurasia - the last 10 000 years) on yhteiseurooppalainen tutkimus, jossa selvitetään pohjois-boreaalisen havumetsävyöhykkeen ilmaston vaihteluita viimeisen 10 000 vuoden ajalta. METLAn kysymyksenasettelu on metsätieteellinen. Hanketta johtaa englantilainen ilmastotieteilijä tri Keith Briffa.

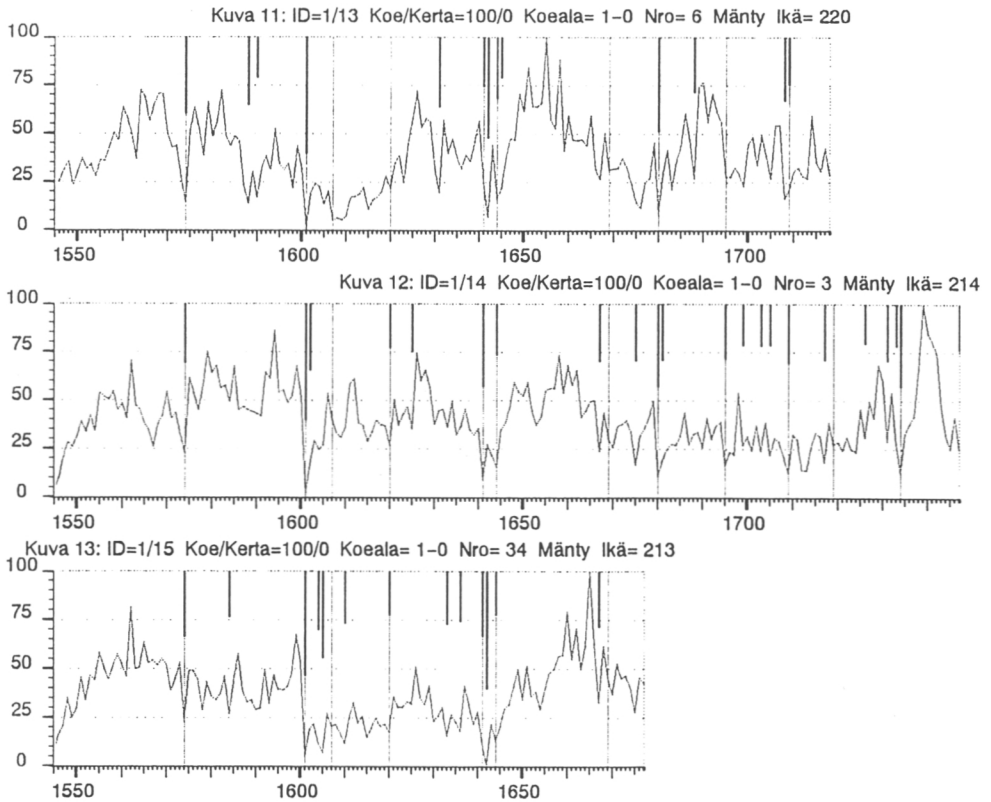
Tässä esityksessä keskitytään 500 viime vuoden kasvutapahtumiin.

### 4 Tutkimusaineisto ja -menetelmät

Tutkimusaineisto perustuu professori Gustaf Sirénin vuosina 1991–1995 keräämiin Saariselän ja Muotkanruoktun mäntyaineistoihin. Aineisto, johon kuuluu näyttöitä elävistä puista, keloista ja kantojuurakoista, ajoitettiin ja analysoitiin Rovaniemen tutkimusaseman dendrokronologian laboratoriossa.

Tutkimuksen lustosarjat laadittiin ns. ristiinajoitustekniikalla (cross-dating). Ristiinajoitus on yksi dendrokronologian eli puiden vuosilustojen ajoittamiseen ja tutkimiseen erikoistuneen tieteenalan keskeisistä työvälineistä. Ristiinajoituksen periaatteet tulevat havainnollisesti esiin piikkivuositekniikassa (skeleton plotting)

(kuva 2). Tällä A.E. Douglasin (1919) kehittämällä viivakoodimenetelmää muistuttavaa tekniikalla saadaan yksinkertaisesti ja tehokkaasti tietoa myös ilmastonvaihteluista ja puiden kasvusta.

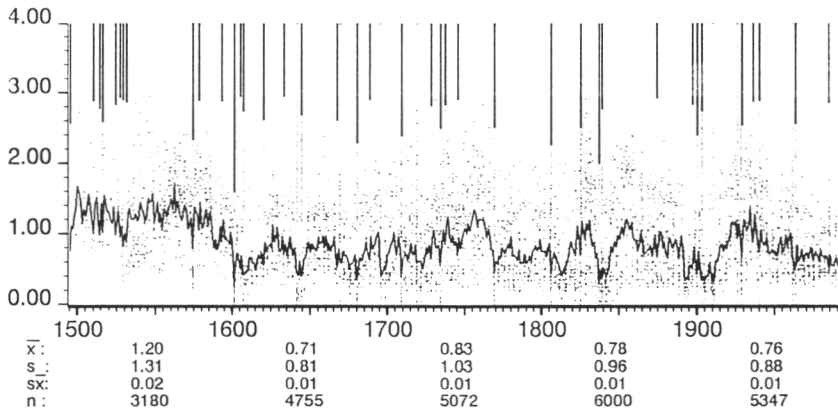


Kuva 2. Piikkivuositteknikka (skeleton plot technique) on yksinkertainen ja tehokas menetelmä ilmaston ja puiden kasvun vaihteluiden selvittämisessä. Paksut pylvääät kertovat tietokoneen tutkimusaineistosta analysoiduista kasvun minimikohtia. Mitä pitempi pylvääs, sitä syvempi on paikallinen minimi. Ilmastollisen minimin aiheuttaa Lapissa alhainen lämpötila, Etelä-Suomessa kuivuus sekä kuivassa ja kuumassa Arizonassa aina kuivuus. Jos eri näytteistä analysoidut kasvun minimivuotia kuvaavat pylvääät esiintyvät usein saman kalenterivuoden kohdalla, on todennäköisesti kyse *ilmastollisesta signaalista*. Satunnaisesti esiintyvät pylvääät vihjaavat puukohtaisiin kasvuhäiriöihin. Periaatteena on, että ilmastosiinaalin esiintymisvuosina ohuet ja paksut pystyviivat sattuvat mahdollisimman usein (vähintään 70 % :ssa tapauksista) päällekkäin. Kuvan poikki kulkevat ohuet viivat kuvaavat tiedossa olevia kasvun minimivuotia. Ne tulostetaan kuviin aina samoihin kohtiin. Tekniikkaa sovelletaan myös puiden ajoituksessa lustoaineistojen laatuksissa.

## 5 Mitä 500 vuoden lustosarja kertoo – tuloksia ja tarkastelua

Esitettävät tulokset perustuvat pieneen, noin 60 männyn esitutkimusaineistoon ja kahteen alueeseen.

Puiden keskimääräinen lustonleveys oli tutkimusaineistossa tarkasteltavana ajanjaksona (1494–1993) 0,94 mm ja hajonta 0,59 mm (kuva 3). Yksittäiset lustonleveydet vaihtelivat 0,03 mm:stä 4,06 mm:iin. Vanhin puu oli 369-vuotias.

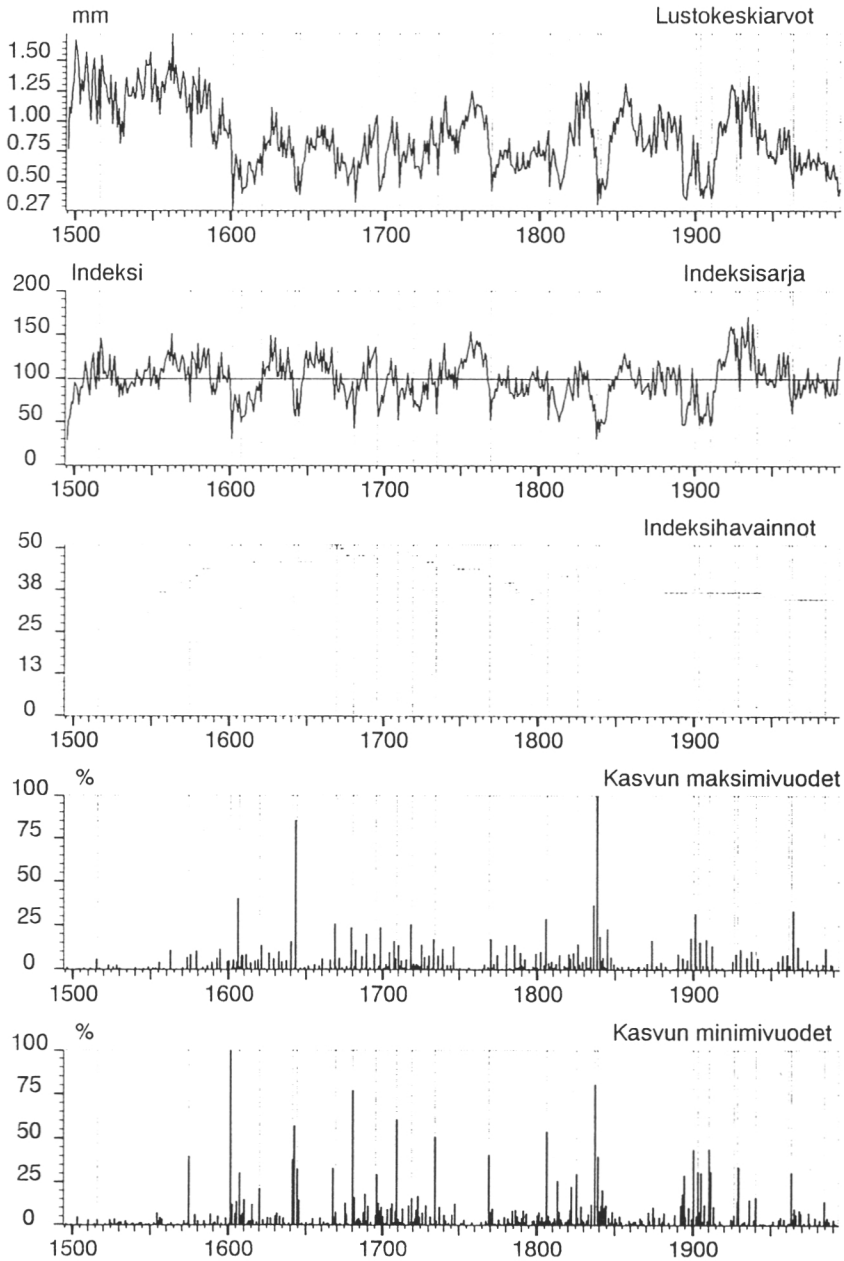


Kuva 3. Männyn vuosiluston leveyden vaihtelu viimeisen 500 vuoden aikana (1494–1993). Sarja perustuu prof. Sirénin Saariselältä ja Muotkanruoktusta keräämiin lustoaineistoihin. Pisteet kuvaavat yksittäisiä lustoleveyshavaintoja ja viiva niiden vuosittaisia keskiarvoja.

Kasvun taso on pysytellyt suunnilleen samana metsänrajaseudulla viimeisen 400 vuoden aikana (luston leveyden keskiarvot vaihdelleet 0,7–0,8 mm:n suuruusluokassa). Muita korkeammat kasvut 1500-luvulla johtuvat puutteellisesta aineistosta, joten ne eivät ole vertailukelpoisia. Vuosittainen keskikasvu vaihteli 0,28 mm:stä 1,70 mm:iin, mikä vuosilustoindeksinä ilmaistuna merkitsee vaihtelua 35:stä 180:een (kuva 4). Kasvut poikkeavat peräkkäisinä vuosina toisistaan tyyppillisesti 20–40 %, ja äärimmillään 70–80 %.

Vaikka kasvun taso on pysynyt suunnilleen samalla tasolla, on vuotuinen tai jaksoittainen vaihtelu ollut voimakasta. Oheisessa asetelmassa on arvioitu laskevia ja nousevia trendejä sekä trendien välisiä tasannevaiheita:

Lasku	Jakso, v.	Tasanne v.	Nousu	Jakso, v
1500–1601	102	15	1615–1626	12
1626–1675	55	5	1680–1760	80
1755–1769	15	45	1813–1832	20
1826–1837	12	6	1842–1858	22
1855–1903	55	9	1911–1925	15
1927–1961	35	34		



Kuva 4. Lapin männyn kasvunvaihtelu vuosina 1494–1993. Yhdistelmäkuvan selitykset: a) Vuosiluston leveyden vaihtelu kalenterivuositain. b) Kasvun suhteellista vaihtelua osoittavat vuosilustoindeksit. c) Indeksien laskennan perusteena olevien lustohavaintojen jakautuminen kalenterivuositain. d) Kasvun minimivuodet eli vuodet, jolloin puiden kasvu on ollut poikkeuksellisen huonoa. Mitä korkeampi pylväs, sitä korkeampi puu on ko. vuonna kasvanut. e) Kasvun maksimivuodet. Mitä korkeampi pylväs, sitä paremmin puu on ko. vuonna kasvanut. Ohuet pystyviivat ovat kuvaavat ns. piikkivuosia.

Nousut ja laskut seuraavat toisiaan, mutta välille jää tasannevaihe. Jakson 1855–1903 (kuva 3) perusteella on ymmärrettävää, miksi 55 vuotta kestänyt laskeva trendi sai metsäammattilaiset ja lainsäätäjän tekemään päätöksiä. Kuluvan vuosisadan alussa (1911–1925) tapahtui nopea puunkasvun elpyminen. Suojametsälain tullessa voimaan vuonna 1922, oltiin juuri päästy koko vuosisadan huippukasvuihin.

Kasvun nousuja ja laskuja ei pidä tulkita liian suoraviivaisesti pelkästään ilmastovaihtelun aiheuttamaksi. Suotuisten säänvaihteluiden vaikutusten lisäksi kasvuun ovat voineet vaikuttaa metsäpalot, myrskyt ja muut luontaiset tekijät. Lisäksi on todennäköistä, että lämmintä jaksoa edeltäneenä kylmänä jaksena puita kuolee metsikössä normaalia enemmän, jolloin vapautunut kasvutila näkyy jäljelle jääneiden puiden kasvureaktiona. Piikkivuosianalysein voidaan selvittää, mistä vaikutuksista kulloinkin on kysymys.

Kuvassa 3 kiinnittää huomiota havaintojen erikoinen jakaantuminen. Pisteparven hajonta kasvaa hyvinä ja pienenee heikkoina kasvuvuosina. Alussa epäiltiin syyn olevan lämpökausina tapahtuvassa uudistumisessa, jolloin syntyy uusia hyvin kasvavia puita. Ilmiö esiintyy kuitenkin myös vanhoilla puilla, joten selitystä on haettava muualta. Kyseessä lienevät puukohtaiset tekijät eli elinvoimaisilla puilla on kyky hyödyntää tarjolla oleva ylimääräinen lämpö.

Lämpötila on kasvun minimitekijä Lapissa (mm. Mikola 1950, Lindholm 1994). Kylmänä kesänä puiden kasvu metsänrajalla joko pysähtyy kokonaan tai on hyvin vähäistä. Vaikeina aikoina saattaa käydä myös niin, ettei uutta lustoa muodostu lainkaan. Tällaisia ajanjaksoja ovat olleet 1902–1911, 1837 ja 1839, 1785–1800 ja 1630–1635. On tapauksia, joissa puuttuu kymmenenkin lustoa 1830-luvulta.

Frittsin (1976) mukaan minimitekijästä johtuva kasvun heikkeneminen näkyy ilmastollisesti samanlaisella alueella selkeästi. Männyissä tämän ilmastosiinaalin tulisi hänen mukaansa näkyä jopa yli 90 %:ssa tapauksista. Tässä aineistossa saatiin 10 parhaan ilmastosiinaalivuoden tulokseksi laskentatavasta riippuen 75–85 % (taulukko 1, kuva 4). Parhaiten puiden vuosilustoissa näkyvät minimivuodet 1601 (97,7 % tapauksissa), 1900 (91,7 %), 1574 (87,8 %) ja 1806 (82,7 %).

Ilmastosiinaali löytyy myös maksimikasvuja tarkastelemalla, joskin minimivuosiin perustuva tapa on tarkempi. Hyviä yksittäisiä kasvuvuosia olivat muun muassa 1606, 1643, 1838, 1901 ja 1964 (taulukko 1, kuva 4).

## 6 Menneisyydestäkö tietoa tuleviksi metsänkasvatusohjeiksi?

Puiden kasvun vaihtelun tarkasteleminen 500 vuoden ajalta osoittaa kasvussa tapahtuvan eri suuruisia heilahteluita ja trendinomaisia muutoksia. Laskut ja nousut saattavat kestää puoli vuosisataa ja joskus pitempäänkin. Metsätalouden harjoittamisen kannalta tällaiset heilahtelut ovat hankalia, sillä niitä on vaikea ottaa riittävän pitkällä aikajänteellä huomioon. Kasvun vaihtelun rajat ja metsien reagointi vaihteluun on kuitenkin tarpeen tuntea metsätaloudessakin tarkasti, jotta välttyttäisiin ääriolojen aiheuttamilta ikäviltä yllätyksiltä kuten esimerkiksi taimikkotuhoilta.

Taulukko 1. Männyn kasvun minimivuodet metsänrajaseudulla viimeisen 500 vuoden aikana (1494–1993).

Selitykset: NH: löytyneiden piikkivuosien lukumäärä  
 NT: havaintojen kokonaismäärä  
 NH/NT: piikkivuosien suhteellinen osuus

Kasvun minimivuodet				Kasvun maksimivuodet			
Vuosi	NH	NT	NH/NT %	Vuosi	NH	NT	NH/NT %
1837	52	63	82.54	1838	46	63	73.02
1601	43	44	97.73	1643	35	46	76.09
1806	43	52	82.69	1901	46	60	76.67
1680	37	49	75.51	1836	36	62	58.06
1900	55	60	91.67	1964	51	57	89.47
1910	38	60	63.33	1606	33	45	73.33
1709	39	52	75.00	1805	22	51	43.14
1642	29	46	63.04	1908	33	60	55.00
1734	39	50	78.00	1840	29	63	46.03
1903	35	60	58.33	1718	33	51	64.71
1929	42	60	70.00	1845	15	62	24.19
1769	36	50	72.00	1668	30	51	58.82
1911	29	60	48.33	1912	21	60	35.00
1839	31	63	49.21	1873	42	63	66.67
1825	38	61	62.30	1679	21	49	42.86
1963	40	57	70.18	1698	11	49	22.45
1574	36	41	87.80	1826	27	60	45.00
1905	24	60	40.00	1898	36	60	60.00
1894	20	60	33.33	1904	20	60	33.33
1842	24	63	38.10	1689	24	49	48.98
1641	24	46	52.17	1930	30	60	50.00
1644	27	46	58.70	1733	17	51	33.33
1667	32	51	62.75	1985	25	57	43.86
1813	20	53	37.74	1770	15	49	30.61
1893	18	60	30.00	1780	26	51	50.98
1607	24	45	53.33	1785	22	50	44.00
1696	18	49	36.73	1967	17	57	29.82
1822	17	58	29.31	1707	19	52	36.54
1907	19	60	31.67	1710	15	52	28.85
1984	24	57	42.11	1746	24	53	45.28
1620	25	45	55.56	1640	19	46	41.30
1928	20	60	33.33	1890	29	60	48.33
1940	18	60	30.00	1927	30	60	50.00
1892	14	60	23.33	1937	25	60	41.67
1897	19	60	31.67	1725	18	50	36.00
1874	22	63	34.92	1621	27	45	60.00
1681	17	49	34.69	1823	24	59	40.68
1936	21	60	35.00	1739	20	51	39.22
1723	12	50	24.00	1789	16	47	34.04
1688	17	49	34.69	1934	22	60	36.67
1843	10	63	15.87	1594	20	45	44.44
1828	18	61	29.51	1682	15	49	30.61
1719	15	49	30.61	1941	19	60	31.67
1610	12	45	26.67	1562	17	39	43.59
1888	16	60	26.67	1960	19	57	33.33
1747	17	53	32.08	1579	18	42	42.86
1605	12	45	26.67	1704	18	53	33.96
1645	8	46	17.39	1814	7	56	12.50
1835	15	63	23.81	1799	17	51	33.33
1675	13	50	26.00	1802	11	52	21.15

Lapissa on viimeisen jääkauden jälkeen esiintynyt mäntymetsiä noin 8 000 vuoden ajan. Ihminen on käsitellyt Lapin metsiä merkittävästi vasta noin 100–200 vuoden ajan. Tämän päivän metsissä näkyvät mm. harsintametsätalouden, nyky-aikaisen metsänhoidon ja poronhoidon jäljet. Kulojen, myrskyjen ja tautien vaikutukset metsien kehitykseen ovat olennaisesti vähentyneet. Uutena tekijänä on tullut mukaan ihmisen toiminnasta aiheutuva ilmastonmuutos, jonka vaikutus näkyy metsien kasvussa ja levinneisyydessä.

Viimeisten vuosikymmenien muutokset luonnossa ovat suuria verrattuna edeltävien vuosituhansien kehitykseen. Uhkaako Lapin metsiä saasteiden vaikutuksesta vähittäinen katoaminen vai valtaavanko mäntymetsät ilmaston lämpiämisen myötä vuosituhansien takaiset asuinsijansa? Ilmaston muutoksista voidaan esittää vain arvioita. Esimerkiksi Erosen (1991) mukaan 2070-luvulla lämpötila olisi nykyistä pari astetta korkeammalla. Sen sijaan lämpötilan kohoamisen vaikutuksia puiden kasvuun ja kehitykseen voidaan tutkia suoraan kokeellisesti esimerkiksi laboratorio-oloissa tai siirtämällä pohjoisia alkuperiä etelään tulevaisuutta vastaaviin maantieteellisiin olosuhteisiin tai välillisesti tarkastelemalla 7 000–4 000 vuotta sitten vallinneen lämpökauden puuston kasvua ja levinneisyyttä. Viimeksi mainittuihin selvityksiin saadaan tutkimusmateriaalia Lapin järvistä ja soista, jotka ovat täynnä subfossiilipuu-, siitepöly- ja muuta käyttökelpoista tietoa.

## Kirjallisuus

- Douglas, A. E. 1919. A method of estimating rainfall by the growth of trees. Julkaisussa: Huntington, E. (toim.). The climatic factor. Carnegie Institute of Washington Publications 192:101–122.
- Eronen, M. 1981. Ilmaston vaihtelut ja pohjoisimmat mäntymetsät. Lapin tutkimusseuran vuosikirja XXII 1981.
- 1991. Jääkausien jäljillä. Tähtitieteellinen yhdistys URSA:n julkaisu.
- & Zetterberg, P. 1992. Fennoskandian subarktisen alueen dendrokronologinen ilmastohistoria. SILMU – Suomalainen ilmakehän muutosten tutkimusohjelma. Tutkimusten väliraportit. Suomen Akatemian julkaisuja 2/92. s. 13–18.
- Fritts, H. C. 1976. Tree rings and climate. Academic Press, New York. 567 s.
- Heikinheimo, O. 1920. Suomen lumituhoalueet ja niiden metsät. Referat: Die Schneeschadengebiete in Finnland und ihre Wälder. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 3: 1–134.
- 1921. Suomen metsänrajametsät ja niiden vastainen käyttö. Referat: Die Waldgrenzwälder Finnlands und ihre künftige Nutzung. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae. 4: 1–71.
- Lindholm, M. 1994. Sää säätää – mänty muistaa. Kesäaikaisten lämpötilojen rekonstruointi männyn vuosilustokalenterin avulla Enontekiön alueella. Midsummer temperatures reconstructed from tree-rings of pine in Northern Finnish Lapland. Julkaisussa: Perttunen, M. (toim.). Uudet menetelmät ja niiden sovellukset kvartaaritutkimuksessa. Symposio Mekrijärvellä 20.–21.4.1993. Acta Universitatis Ouluensis. Series A Scientiae Rerum Naturalium 251. 116 s.
- Mikola, P. 1950. Puiden kasvunvaihteluista ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. On variations in tree growth and their significance to growth studies. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 38(5): 1–131.
- Pohtila, E. & Timonen, M. 1980. Suojametsäalueen viljelytaimikot ja niiden varhaiskehitys. Summary: Scots pine plantations and their early development in the protection forests of Finnish Lapland. Folia Forestalia 453. 18 s.
- Sirén, G. 1961. Skogsgränställen som indikator för klimatfluktuationerna i norra fennoskandien

- under historisk tid. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 54(2): 1–66.
- & Hari, P. 1971. Coinciding periodicity in recent tree rings and glacial clay sediments. *Reports from the Kevo subarctic Research Station* 8: 155–157.
- Renvall, A. 1912. Die periodischen Erscheinungen der Reproduktion der Kiefer an der polaren Waldgrenze. *Acta Forestalia Fennica* 1: 1–154.
- 1919. Mäntymetsän elinehdot sen pohjoisrajalla sekä tämän alenemisen syyt. *Suojametsäkysymyksestä I. Acta Forestalia Fennica* 11: 1–143.

# Kuolan metallisulattojen päästöjen vaikutus männyn kasvuun

---

Pekka Nöjd  
Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus  
PL 18, 01301 Vantaa

## 1 Johdanto

Kuolan alueen metsävauriot tulivat suomalaisten tietoisuuteen 1980-luvun loppupuolella. Lehtikuvat pystyynkuolleista metsistä olivat hälyttävän näköisiä, eikä luotettavia tietoja tuhojen syistä ja laajuudesta ollut. Huolenaihetta antoi myös eteläisen Lapin männiköiden silminnähten heikko kunto, joka ilmeni talvella 1986–1987. Tutkijoiden tilanearviot poikkesivat myös melkoisesti toisistaan.

Ilmiöitä tutkimaan perustettiin Itä-Lapin metsävaurioprojekti, joka maa- ja metsätalousministeriön rahoituksen turvin pyrki selvittämään vaurioiden laajuutta ja syitä. Monitieteinen hanke sisälsi laajan kirjon tutkimusaiheita ilmanlaadusta ja maaperän geologiasta aina satelliittikuvien avulla toteutettuun metsäkuolema-alueiden kartoitukseen. Metsätalouden harjoittajia kiinnostivat erityisesti metsien kasvun muutokset, joten oli luonnollista valita ne yhdeksi projektin tutkimuskohteista.

Kuolassa sijaitsee kaksi erityisen haitallista teollisuuskeskusta, molemmat metallisulattoja päätuotteinaan nikkeli ja kupari. Näistä toinen on Petsamossa sijaitseva Petsanganikel, toinen Sodankylän korkeudella reilun sadan kilometrin etäisyydellä Suomen rajalta sijaitsevassa Montsegorskin kaupungissa toimiva Severonikel. Molemmat kuuluvat Euroopan suurimpiin rikkidioksidin päästölähteisiin; Petsanganikel on äskettäin julkaistussa tilastossa neljäntenä, Severonikel viidentenä (Barret ja Protheroe 1995). Myös raskasmetalleja leviää sulattojen ympäristöön hyvin suuria määriä, Severonikelistä moninkertaisesti enemmän kuin Petsanganikelistä (Tuovinen ym. 1991).

Esittelen seuraavassa tuloksia tutkimuksesta, jonka tavoitteena oli kuvata Kuolasta peräisin olevien päästöjen vaikutuksia männyn kasvuun. Käsittelen pääasiassa metsätuhoja Montsegorskin vaikutusalueella. Petsanganikelin vaikutusalueelta tutkimusaineistoa on niukemmin. Alue on myös pohjoisen sijaintinsa vuoksi metsätaloudellisesti vähemmän kiinnostava.

## 2 Päästöjen vaikutuksia tutkittiin vuosilustoanalyysillä

Kuolan alueelta ei ole vanhoja metsien kasvua kuvaavia havaintosarjoja, joten ainoa vaihtoehto oli mitata kasvua takautuvasti, puiden vuosilustoja tutkimalla. Menetelmällä voidaan hankkia tietoja vuosikymmenien, jopa vuosisatojen takaisista ilmiöistä. Tavallisimmin kiinnostuksen kohteena on puiden kasvun vaihtelu, mutta menetelmän avulla voidaan selvittää myös ilmasto-oloja aikakausilla, joilta ei ole mitattuja säähavaintoja.

Maapallolta löytyy vuosituhansien ikäisiä eläviä puuyksilöitä; niiden lustot sisältävät katkeamattomia havaintosarjoja, jotka ulottuvat pitkälle ennen ajanlaskumme alkua (Fritts 1976). Lapin männytkin elävät varsin iäkkäiksi, vanhin löydetty yksilö oli yli 800 vuoden ikäinen (Sirén 1961). Myös kuolleiden puiden lustot ovat käyttökelpoisia; vaikka lustosarjat eivät ulotukaan nykypäivään saakka, ne voidaan ajoittaa vertaamalla niitä elävien puiden sarjoihin.

Vuosiluston leveys kertoo puun kasvunopeudesta sinä kesänä, jolloin lusto kehittyi. Ilmastoäytettä analysoidaan myös luston sisäistä rakennetta, kevät- ja kesäpuuosuuksia ja jopa yksittäisten solujen ominaisuuksia.

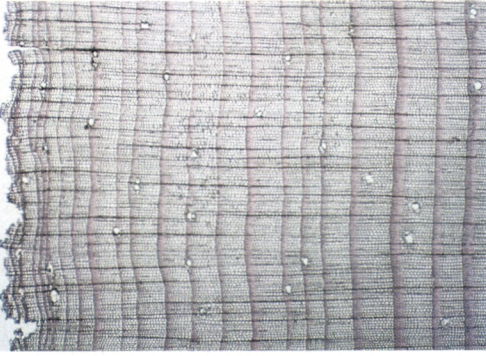
Vuosilustonäytteitä kerättiin Montsegorskista ja Petsamosta Suomeen päin suuntautuville linjoille sijoitetuista koemetsiköistä. Tuhojen alkamisajankohdan ja leviämisenopeuden selvittämiseksi koealoja perustettiin myös metallisulaton lähiympäristöön, metsäkuolema-alueelle. Tutkimusaineisto koostuu noin 1 300:sta koe-  
puusta.

## 3 Kasvunvaihtelun syyt

Puun kasvunvaihtelun mittaaminen vuosilustosarjoista on sinänsä varsin yksinkertaista. Havaittujen muutosten syiden selvittäminen on sen sijaan usein vaikeaa. Yksittäisen puun kasvuun vaikuttavat lukuisat luontaiset tekijät. Ilmaston vaihtelu on näistä keskeisimpiä. Lapin mäntyjen kasvua säätelevät kesän lämpöolot, erityisesti heinäkuun lämpötila. Lämpimämmän ilmaston alueilla, esimerkiksi Keski-Euroopassa, sademäärien vaikutus on lämpötilaa merkittävämpi.

Puuyksilöiden kilpailu valosta ja ravinteista jättää jälkensä kasvuun. Taimikkovaiheessa kilpailu on vähäisempää ja puiden sädekasvu nopeaa; latvuston sulkeutuessa kasvu hidastuu. Toisaalta tiheydestä johtuva itseharveneminen tai vaikkapa tuulituhot jättävät jäljelle jääville puille lisää kasvutilaa, jolloin niiden kasvu kiihtyy. Sama vaikutus on tietenkin myös harvennushakkuilla.

Tutkittaessa ilmansaasteista johtuvia puiden kasvumuutoksia keskeisenä ongelmana on niiden erottaminen muiden tekijöiden aiheuttamasta vaihtelusta. Yritin yksinkertaistaa tätä tehtävää valitsemalla tutkimusaineiston hakuin käsittelemättömistä vanhoista männiköistä, joista ei löytynyt merkkejä merkittävistä luonnon-tuhoista. Tutkittavat metsiköt sijaitsevat idästä länteen suuntautuvilla linjoilla, joten ilmastolliset erot niiden välillä ovat vähäisiä.



Kuva 1. Mikroskooppikuva noin 8 kilometriä Montsegorskista etelään sijaitsevan männyn vuosilustojen rakenteesta. Leveä lusto kuvan oikeassa reunassa on muodostunut v. 1941. Huomaa lustojen voimakas kapeneminen lähellä puun pintaa.



Kuva 2. Keloutuneita mäntyjä Montsegorskia ympäröivällä metsäkuolema-alueella.

#### 4 Mitä männyn vuosilustot kertovat metsävaurioista Montsegorskin seudulla ?

Montsegorskin metallisulatto valmistui 1939. Sodan aiheuttamien tuotantokatkosten jälkeen laitos on toiminut ilman merkittäviä katkoksia nyky päivään asti. Pitkäaikainen altistus laskeumille on tuhonnut sulaton lähiympäristön kasvillisuuden jokseenkin täydellisesti. Vain muutamat kasvilajit ovat tarpeeksi sitkeitä selviytyäkseen parin kilometrin säteellä tehtaasta. Puulajeista koivu näyttäisi olevan selvästi sitkeähenkisin.

Lähimmät lustonäytteet ovat kuolleista, melko lahoista mäntykeloista noin kahden kilometrin etäisyydeltä sulatosta (kuva 1). Vertailu elävien puiden lustosarjoihin osoitti puiden kasvun taantuneen äkillisesti 1940-luvulla. Vuoden 1951 jälkeen yksikään koepuista ei enää ollut muodostanut vuosilustoja. Kasvun päättyminen ja puun kuolema eivät välttämättä ole samanaikaisia ilmiöitä. Itse asiassa tutkimusaineistoon kuului useita puita joilla oli selvästi elävä latvus, mutta joiden lustosarjat päättyivät vuosia, jopa vuosikymmeniä aikaisemmin. Ääriesimerkki oli vuonna 1990 kairattu elävä mänty, jonka viimeinen vuosilusto rinnankorkeudella oli vuodelta 1972. Toisaalta kasvun päättyminen kertoo kuitenkin puun kunnan heikentymisestä. Tuloksesta voimme päätellä, että silmänvaraisesti havaittavat metsävauriot Montsegorskin seudulla alkoivat jo noin 50 vuotta sitten.

Vauriot ovat edenneet hiljalleen pois päin metallisulatosta. Lähimmät elävät männyntaimet löytyvät parin kilometrin etäisyydellä. Vanhat männynyt ovat sen sijaan lähes kaikki kuolleet noin kahdeksan kilometrin säteellä. Useimmissa tapauksissa niiden kasvu päättyi 1960-luvulla (kuva 2). Vielä noin viidentoista kilometrin etäisyydellä kaikki koepuut olivat lopettaneet kasvunsa; pääosa 1970-luvulla, muutamat 1980-luvulla.

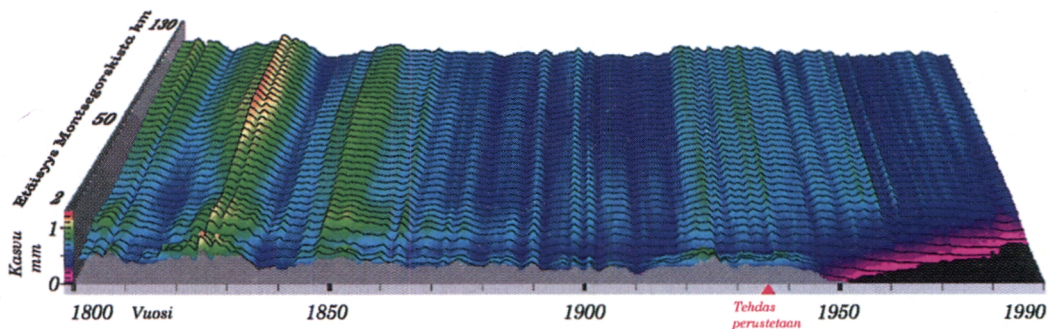
Siirryttäessä edelleen pois päin Montsegorskista puiden kunto vähitellen paranee. Kuitenkin vielä noin 30 kilometrin etäisyydellä vanhojen mäntyjen kasvu on normaalia heikompaa. Taantuma on alkanut 1960-luvulla, jonka jälkeen kasvu on tasaisesti heikentynyt.

Kuvassa 3 on havainnollistettu männyn kasvunvaihtelua Montsegorskista länteen suuntautuvalla koelajinjalalla. Vaaka-akseleina ovat aika ja etäisyys sulatosta, pystyakselilla kuvataan männyn sädekasvua. Ennen sulaton perustamista vuonna 1939 puiden kasvurytmi on ollut hyvin samantyyppistä etäisyydestä riippumatta. Suotuisia jaksoja ovat olleet esimerkiksi 1820-, 1850- ja 1920-luvut; erityisen hitaasti männyt kasvoivat 1830-luvulla. Täysin varmoja tietoja 1800-luvun kasvunvaihtelun syistä ei ole. Hyvin todennäköistä kuitenkin on, että näin laaja-alaiset muutokset johtuvat ilmastonvaihtelusta. Männyn nopea kasvu 1920- ja 1930-luvulla liittyy selkeästi keskimääräistä lämpimämpiin keskikesän lämpötiloihin.

Sulaton perustamisen jälkeen erot eri etäisyyksillä ovat selviä. Kuva kertoo myös vaurioiden edenneen ajan myötä yhä kauemmas sulatosta. Vuosilustojen perusteella arvioitu vaurioiden etenemisnopeus on noin 0,5 km vuodessa jaksolla 1950–1990.

Suomen ja Montsegorskin vaurioalueen väliin jää reilusti yli 50 kilometrin levyinen vyöhyke, jolla männyt ovat viime vuosikymmeninä kasvaneet normaalisti. Montsegorskin päästöistä johtuvat muutokset Lapin metsien kasvussa ovat näin ollen epätodennäköisiä lähitulevaisuudessakin. Myös monet muut Itä-Lapin metsävaurioprojektin tulokset viittaavat siihen, että Montsegorskin sulaton päästöjen vaikutukset Suomen metsiin ovat selvästi vähäisemmät kuin tutkimuksia käynnistettäessä pelättiin (Tikkanen 1995). Esimerkiksi Raition (1992) neulasanalyysit osoittivat männyn neulasten rikki-, nikkeli- ja kuparipitoisuuksien olevan selvästi kohonneita noin 30–40 kilometrin etäisyydellä Montsegorskista; siis jokseenkin samalla alueella, missä myös kasvun todettiin taantuneen.

Viimeaikaiset ilmanlaadun mittaukset viittaavat selkeästi siihen, että Montsegorskin päästöjen vaikutus näkyy Suomen Lapissa lähinnä lyhytaikaisina voimakkaasti kohonneina rikkidioksidipitoisuuksina (esim. Hari ym. 1994). Sopivissa tuulioloissa Lapin normaalisti alhaiset pitoisuudet voivat jopa satakertaistua, tyy-



Kuva 3. Männyn sädekasvu Montsegorskista länteen suuntautuvalla linjalla kuvattuna kolmiulotteisesti suhteessa aikaan ja etäisyyteen Montsegorskista.

pillisesti muutamien tuntien ajaksi. On vaikea arvioida tällaisten lyhytkestoisten piikkien vaikutusta kasveihin. Muutamien tuntien mittainen altistuminen vastavansuuruisille ilman rikkidioksidipitoisuuksille ei kokeellisten tutkimusten mukaan vaikuta männyn fotosynteesiin (Haavisto ja Hari 1995). Tähänastiset tutkimustulokset eivät myöskään ole tuoneet esiin kovin hälyttäviä merkkejä puuston terveydentilan heikkenemisestä Suomen Lapissa. Viime vuosikymmenen lopun uhkaavan näköisistä neulasvaurioista puut näyttävät toipuneen hyvin.

Kuolan alueen toinen suuri päästölähde, Petsanganikel, sijaitsee pohjoisella metsänrajaseudulla. Kasvumittauksia tehtiin Svanvikista, Norjasta, Suomeen päin suuntautuvilla tutkimuslinjoilla. Lähimmät havainnot ovat noin 12 kilometrin etäisyydeltä sulatosta länteen. Tuolla etäisyydellä kasvu on 1980-luvulla ollut 20–30 % normaalitason alapuolella. Itäisessä Inarissa mänty on 1980-luvulla kasvanut hivenen heikommin kuin Länsi-Inarissa. Erot ovat kuitenkin vähäisiä ja selittynevät luontaisella kasvunvaihtelulla, joka on metsänrajaseudulla erittäin voimakasta (Nöjd ja Kauppi 1995).

## Kirjallisuus

- Barrett, M & Protheroe, R. 1994. Sulphur emission from large point sources in Europe. Second revised edition. The Swedish NGO Secretariat on Acid Rain, Göteborg, Sweden. s. 1–5.
- Fritts, H. C. 1976. Tree rings and climate. Academic Press, New York. 567 s.
- Haavisto, H. & Hari, P. 1995. Lyhytaikaisen rikkidioksidaltistuksen myrkyvaikutus männyn fotosynteesiin. Julkaisussa: Tikkanen, E. (toim.). Kuolan saastepäästöt Lapin metsien rasitteena. Itä-Lapin metsävaurioprojektin loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriö. Metsäntutkimuslaitos. s. 190–191.
- Hari, P., Kulmala, M., Pohja, T., Lahti, T., Siivola, E., Palva, L., Aalto, P., Hameri, K., Vesala, T., Luoma, S. & Pulliainen, E. 1994. Air pollution in eastern Lapland: Challenge for an environmental measuring station. *Silva Fennica* 28(1): 29–39.
- Hustich, I. 1945. The radial growth of the pine at the forest limit and its dependence on the climate. *Societas Scientiarum Fennica. Commentationes Biologicae IX, 8*: 1–75.
- Nöjd, P. & Kauppi, P. 1995. Mäntyjen kasvu muuttuvassa ympäristössä. Julkaisussa: Tikkanen, E. (toim.). Kuolan saastepäästöt Lapin metsien rasitteena. Itä-Lapin metsävaurioprojektin loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriö. Metsäntutkimuslaitos. s. 183–195.
- Raitio, H. 1992. The foliar chemical composition of Scots pines in Finnish Lapland and on the Kola Peninsula. Julkaisussa: Tikkanen, E., Varmola, M., Katermaa, T (toim.). 1992. Symposium on the state of the environment and environmental monitoring in northern Fennoscandia and the Kola Peninsula. *Arctic Centre Publications 4*: 226–231.
- Sirén, G. 1961. Skogsgränstallen som indikator för klimatfluktuationer i norra Fennoskandien under historisk tid. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 54: 1–66.
- Tikkanen, E. (toim.). 1995. Kuolan saastepäästöt Lapin metsien rasitteena. Itä-Lapin metsävaurioprojektin loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriö. Metsäntutkimuslaitos. 232 s.
- Tuovinen, J. P., Laurila, T. & Lättilä, H. 1991. Lapin ilmansaasteet. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaatuosasto. Helsinki. 67 s.
- , Laurila, T., Lättilä, H., Ryaboshapko, A., Brukhanov, P. & Korolev, S. 1993. Impact of the sulphur dioxide sources in the Kola Peninsula on the air quality in northernmost Europe. *Atmospheric Environment* 27A(9): 1379–1395.

# Miten arvioidaan metsää kuvaavia malleja?

---

Hannu Salminen  
Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema  
PL 16, 96301 Rovaniemi

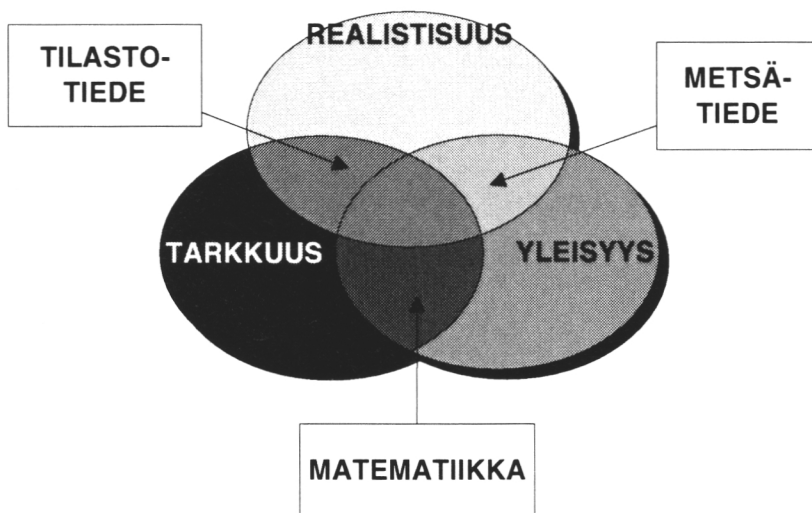
## 1 Teoria, mallit ja yhtälöt

Tieteellisiä teorioita kehitetään tutkimuksen keinoin. Teoriat ovat yleensä sanallisia kuvauksia tai ehdotuksia, joita voidaan toteuttaa malleilla. Tarkkaa rajausta mallien ja teorian välille on vaikea tehdä, sillä hyvin teoreettiset mallit muistuttavat teorioita ja toisaalta kaikki teorialkin voidaan määritellä sanalliseen asuun muotoilluiksi malleiksi. Selvin ero mallien ja teorian välillä on se, että teorioilla tavoitellaan tieteellistä totuutta ja tarkkuutta, kun taas mallien tiedetään olevan rajoitettuja kuvauksia teorioista ja tutkittavista ilmiöistä.

Käytännössä termillä malli on erilainen merkitys eri yhteyksissä. Metsätieteissä ja etenkin empiirisessä tutkimuksessa mallia on käytetty hyvin laajassa merkityksessä. Kaikkia yhtälöitä, taulukoita ja graafeja on voitu nimittää malleiksi, ja niiden soveltamista erilaisilla syöttötiedoilla on vastaavasti kutsuttu simuloinniksi, vaikka kyseessä olisikin yhden muuttujan yhtälön soveltaminen.

Kasvumallit on perinteisesti luokiteltu empiirisiin ja prosessimalleihin. Empiiriset mallit perustuvat mitattujen tunnusten tilastollisiin riippuvuuksiin havaituissa ja joskus järjestetyissä olosuhteissa. Tilastollisten riippuvuuksien ohella “todelliset” syy-seuraussuhteet voidaan ottaa huomioon hypoteesien muotoiluissa, mutta ei välttämättä itse malleissa. Sharpen (1990) mukaan tilastollinen lähestymistapa yhdistää tarkkuuden ja realismisuuden, mutta siitä puuttuu yleisyys (kuva 1). Empiiriset mallit ovat aina aineistojensa rajoittamia. Tyypillisiä esimerkkejä empiirisestä lähestymistavasta ovat regressioanalyysin avulla laaditut puuston tilavuutta tai tilavuuskasvua kuvaavat mallit.

Ekofysiologiset prosessimallit käyttävät peruskäsitteitä kuten yhteyttäminen, auringon säteily, ravinteiden otto ja hiilitase puun kasvun mekanismien kuvaamiseen. Ne korostavat erityisesti syy-seuraussuhteiden ja toimintamekanismien ymmärtämistä. Alimmalla tasollaan nekin nojaavat empiirisiin havaintoihin. Esimerkiksi fotosynteesin riippuvuutta kasvin vastaanottaman valon määrästä kuvaavan yhtälön arvot perustuvat mittauksiin. Kotimaisista prosessimalleista tunnetuin on



Kuva 1. Mallityyppien ominaisuudet Sharpen (1990) mukaan.

Hari ym.:n (1980) laatima männyn kehityksen kuvaus.

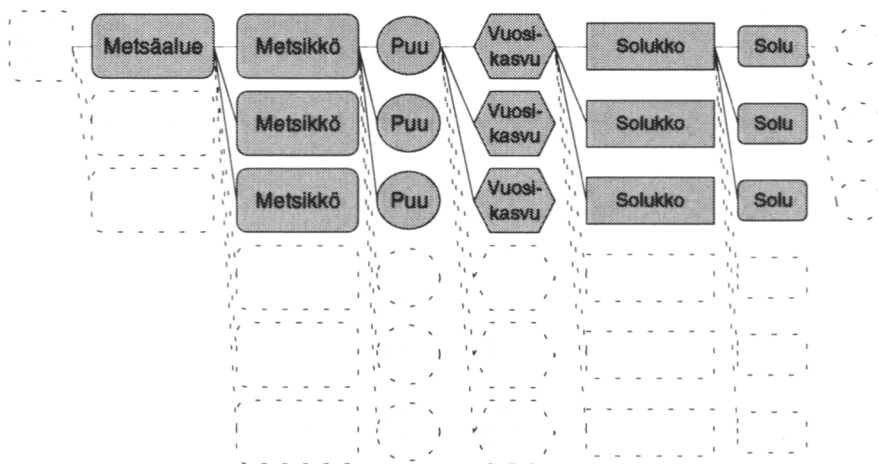
Koska siis kaikki mallit ovat empiirisiä alimmalla tasollaan (Whisler ym. 1986), lopullinen ero mainittujen lähestymistapojen välillä on siinä tasossa, millä kausaalisuus otetaan huomioon ja siinä, miten se tehdään.

Mallit ja yhtälöt yleensä käsittelevät joko toimintoja tai rakennetta, joita molempia voidaan edelleen tutkia erilaisissa aikaan ja paikkaan liittyvissä mitta kaavoissa. Prosessimalleissa on yleisimmin tarkasteltu nimenomaan toimintaa. Ns. arkkitehtuurimallit erottelevat ja kuvaavat erilaisia hierarkkisia tasoja ja rakenteita sekä yksittäisissä kasveissa että ekosysteemeissä (Kuuluvainen ym. 1988, Oldeman 1990, Barlow 1993). Kasvavaa mielenkiintoa kohdistuu myös kokoaviin lähestymistapoihin, jotka yhdistävät toimintojen ja rakenteen kuvauksen (esim. Reynolds ym. 1987, Mäkelä 1990, Hari ym. 1990, Isebrands ym. 1990, Nikinmaa 1993) ja toimivat useilla yksityiskohtaisuustasoilla (esim. Kimmins ym. 1988, King ym. 1990, Luxmoore ym. 1990, Leersnijder 1992, Baldwin ym. 1993).

Mallin laadinnan tavoitteena on useimmin konkreettinen lopputuote eli sovelluskelpoinen yhtälö tai järjestelmä. Tämä on vastannut länsimaiselle luonnontieteelle ominaista teknistä ja jopa positivistista otetta. Taloudellis-teknisestä näkökulmasta mallien tarpeellisuutta perustellaan sillä, että niillä voidaan tuottaa suhteellisen edullisesti ja nopeasti tietoa päätöksentekoa varten. Tulkintaprosessia ja ymmärtämistä korostavalle hermeneuttiselle lähestymistavalle keskeistä on mallin kehitystyössä kertyvä tietämys ja saadut kokemukset, vaikka itse mallia ei saataisikaan tehtyä. Mallituksen päämääristä tiedon organisointi ja validointi sekä lisäselvityksiä kaipaavien asioiden tunnistaminen sopivat tutkimustyöhön yleensäkin. Ilmiöiden kuvaamisen lisäksi malleilla voidaan ennustaa, tulkita, vertailla, selittää ja luoda normeja. Tyypillisesti malleja käytetään tutkimustulosten yleistämiseen.

## 2 Mallittamisen hierarkkiset tasot

Biologiset systeemit ovat monimutkaisia hierarkioita, missä ylemmän tason yksiköt koostuvat alempitasoisista (kuva 2). Niitä kuvaavien mallien yksityiskohtaisuustaso voi vaihdella niin ajan kuin tilankin suhteen. Esim. lehtien fysiologiaa tutkittaessa aikaskaala vaihtelee sekunneista muutamiin tunteihin ja koko skaala mikrometreistä muutamiin millimetreihin, kun taas perinteiset kasvumallit käyttävät 1–5 vuoden aika-askelta ja millimetreistä metreihin ulottuvaa tarkkuutta (King ym. 1990). Samoin populaatiodynamiikkaa voidaan tarkastella geneettisellä, yksilö-, populaatio- (kohortti) tai maisematasolla. Esimerkiksi Barlow (1993) määrittelee kasvin elämän viidelle hierarkkiselle tasolle kasvavan kompleksisuuden mukaan. Tasot vastaavat soluja, orgaaneja, organismeja, ryhmiä ja yhteisöjä.



Kuva 2. Mallittamisen hierarkkiset tasot.

Mallitutkimuksessa on kaksi tarkastelutason valintaan liittyvää peruskysymystä: miten populaatioiden rakenne on kuvattu ja miten yksilöiden rakenne on kuvattu. Oikea valinta riippuu tarkastelun kohteesta, tavoitteesta ja noudatettavasta metodologiasta. Ylemmän tason mallien hallinta ja ymmärtäminen on helppoa, kun taas yksilötason mallit ovat joustavampia sekä mallitettavan kohteen että mallin tuottamien tietojen suhteen.

Ikä- tai kokoluokkiin perustuvassa lähestymistavassa luokat kuvaavat populaation. Jos luokkien edustamat yksilöt ovat identtisiä, oleellista informaatiota ei menetetä. Luokkatason mallit tulevat liian vaikeselkoisiksi, jos yksilöiden väliset riippuvuudet ovat voimakkaita, jos ulottuvuuksien ja luokitusasteojen määrät kasvavat suureksi tai jos ilmiöön liittyy paljon satunnaisuutta (Caswell ja John 1992).

Teoriassa populaatiot eivät yleensä ole yhtä yksiselitteisesti määriteltävissä kuin yksilöt (Lomnicki 1992). Tähän ovat poikkeuksia tilanteet, joissa yksilöt eivät ole selvästi erotettavissa, tai jos tietämyksemme populaatio- tai yhteisötasolta on merkittävämpää kuin tietomme yksilöistä. Lisäksi biologiset yksilöt ovat usein ainut-

laatuksia ja vuorovaikutuksessa ympäristöönsä, eli jokaisella yksilöllä on vaikutus populaation toisiin yksilöihin (DeAngelis ja Gross 1992, Huston ym. 1988). Yksilötason mallit vaativat tehokasta tietojenkäsittelyä ja niistä tulee helposti monimutkaisia. Nykyisellä teknologialla mallien käytännön toteutus ei sinänsä ole ongelma, kunhan luonnonilmiöistä on riittävästi syvällistä ja yksityiskohtaista tietoa.

Metsikkömallit tarkastelevat populaatiotasoa, mutta puumalleilla voidaan tarkastella joko luokkia tai yksilöitä. Puukohtaiset mallit luokitellaan usein vielä sen mukaan, onko puiden sijainti mukana tarkastelussa vai ei. Puukohtaisilla malleilla voidaan esimerkiksi tarkastella puiden välisen kilpailun vaikutusta metsikön rakenteeseen, mikäli sijaintitieto otetaan huomioon, sekä tutkia puulajisuhteiden vaikutusta tuotokseen ja tulostaa yksittäisten runkojen apteraukseen perustuvia puutavaralajitietoja. Luokkatason tarkasteluissa yhden puuluokan edustajan avulla kuvataan koko populaatio. Esimerkiksi MELA-suunnitteluohjelmiston kasvumallit ovat puukohtaisia, mutta puusto esitetään runkolukusarjasta poimittujen kuvauspuiden avulla (Ojansuu ym. 1991). Jokainen kuvauspuu siis edustaa useaa puuta hehtaarilla. Luokkatason malleilla tavoitellaan puukohtaisten mallien joustavuutta ja metsikkötason mallien selkeyttä.

Oikean yksityiskohtaisuustason valinta on tasapainottelua selkeyden ja yksityiskohtaisuuden välillä. On muistettava, että paras malli ei ole välttämättä kaikkein yksityiskohtaisin tai monimutkaisin. Todellisuudessa yksinkertaisuus sekä muuttujien että prosessien kuvauksessa on toivottavaa, koska silloin on helpompi ymmärtää osatekijöiden merkitys kokonaisuudelle ja koska parametrien arvojen laskentaan ei tarvita kovin laajaa aineistoa.

### 3 Mallien ohjaus

Jos malli tai yhtälö kuvaa yksinkertaisesti puun tai metsikön ominaisuuden suhteessa ikään tai aikaan, malli on luonteeltaan staattinen. Dynaamisessa mallien soveltamisessa edelliset mallin tapahtumat tai "kierrokset" vaikuttavat seuraaviin kierroksiin. Staattiset mallit ennustavat suoraan määriä ajan suhteen ja dynaamiset mallit ennustavat muutosten suuruutta eri olosuhteissa, joista voidaan edelleen johtaa määrää koskevat tiedot (Garcia 1988). Perinteisin esimerkki staattisista malleista on tuottotaulukot, joissa ilmoitetaan puuston kasvu tai tilavuus ajan suhteen (ks. Koivisto 1959). Yksinkertaisimmillaan dynaaminen malli perustuu vain muutamaan muuttujaan. Esimerkiksi Nyyssönen ja Mielikäinen (1978) kuvaavat männyn vuotuisen kuutiokasvuprosentin yhtälöllä, jossa selittävinä muuttujina ovat metsikön ikä, tilavuus tarkastelujakson alussa ja keskilämpimitta. Metsikön tilavuus kasvaa yhtälöllä lasketun kasvuprosentin verran, ja saatua uutta tilavuutta käytetään seuraavan kasvujakson alkutilanteena.

Mallit voidaan luokitella joko deterministisiin tai satunnaisiin sekä tapahtumien ajoituksen että muuttujien arvojen suhteen (Maryanski 1980). Kasvumalleissa tapahtumien ajoitus ei yleensä ole yhtä keskeinen asia kuin muissa ekologisissa malleissa (esim. saalis-saalistaja -tarkastelut), vaan mahdollinen satunnaisuus liit-

tyy lähinnä muuttujien arvoihin. Satunnaisuutta sisältävässä mallissa samoilla lähtötiedoilla voidaan päätyä erilaisiin lopputuloksiin. Tarkasteltavaan ilmiöön liittyvää satunnaisuutta voidaan kuvata tarkemmin, jos esimerkiksi tietyn syöttötiedon vaihteluväli ja hajonta tunnetaan. Useat luonnonilmiöt ovat niin monimutkaisia, että niiden yksityiskohtaisen tarkastelun sijaan malleihin liittyvä epävarmuus kuvataan satunnaisvaihtelun avulla.

Mallien ajallisessa ohjauksessa on kaksi perustekniikkaa. Portaittaisessa systeemissä käytetään aikasykäyksiä, jotka edelleen ohjaavat eri osatekijöiden toimintaa ja ajoitusta. Vastaavasti jatkuva ajan käsittely perustuu virtauksille ja niiden kontrollille. Biologiset prosessit ovat pääosin jatkuvia, mutta käytännön syistä useimmat simulointimallit perustuvat aikasykäysten käyttöön. Jatkuvan simuloinnin soveltaminen vaatii tarkkoja tietoja toimintamekanismeista, jotta kontrollit voidaan toteuttaa oikein. Selvästi epäjatkuvia ilmiöitä ovat monet tuhot ja metsän käsittelyt. Kun simulointi toteutetaan digitaaliteknoologiaan perustuvilla tietokoneilla, prosessit on aina alimmalla tasollaan jaettava aikasykäysiin. Ajallisessa ohjauksessa on siis lopulta kyse vain aikaviipaleen pituuden valinnasta. Metsää ja puita kuvaavissa malleissa käytetään yleensä lyhyimmillään tunnin ja pisimmillään 5–10 vuoden aikajaksoa.

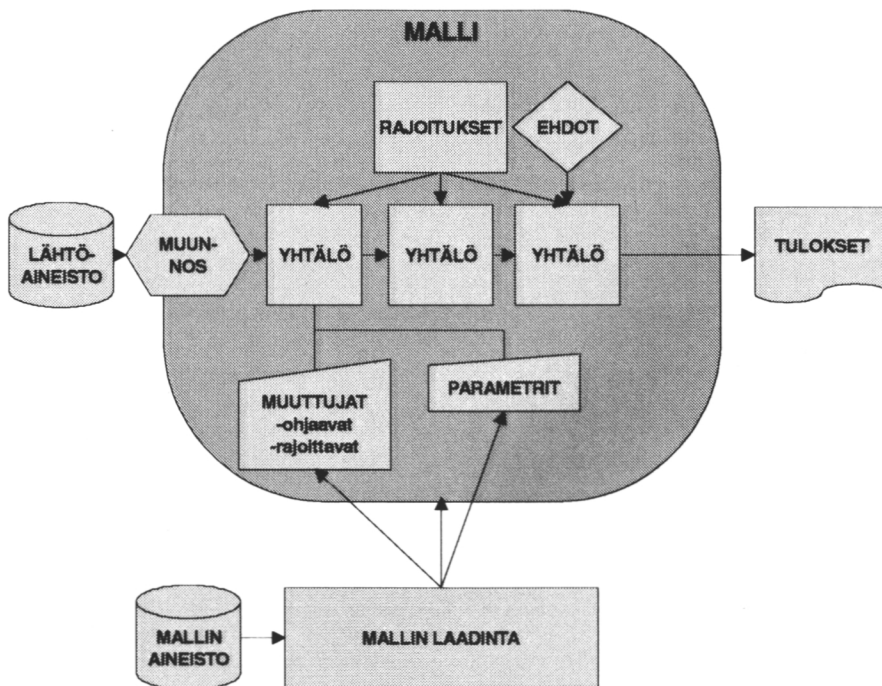
## 4 Mallien hyvyden arviointi

Mallin hyvyden arviointi riippuu mallin laatimisen ja käytön tavoitteista. Usein mallituksen tavoitteiksi asetetaan joko tarkasteltavan ilmiön jäljittely niin, että sen käyttäytymistä voidaan ennustaa tai ilmiön toimintamekanismeja ja rakenteita ymmärtää. Edellisessä tapauksessa painopiste on mallin ulkoisessa toiminnassa, jälkimmäisessä keskitytään sisäisiin rakenteisiin. Vastaavat painopisteet ohjaavat mallin arviointia. Mallin hyvyys sisältää useita elementtejä, joista tärkeimpiä ovat mallin oikea rakenne, mallin tulosten varmuus ja mallin riittävä dokumentointi. Useimmiten hyvyys on suhteellinen käsite, joten malli ei ole täysin oikea tai täysin väärä. Jos kuitenkin mallin rakenne tai perusoletukset ovat täysin väärä, malli voidaan hylätä virheellisenä.

Mallin rakenne voi olla virheellinen, vaikka se tilastollisten tunnuslukujen perusteella sopisi laadinta-aineistoon hyvin. Empiirisissä malleissa hypoteesien laadinta on tärkeä vaihe juuri mallin rakenteen kannalta. Hyvänkin mallin väärä soveltaminen johtaa virheellisiin tuloksiin. Jos esimerkiksi laaditaan malli, jossa tilavuuskasvu määritetään lämpösumman avulla tietynä vuotena kerätyn aineiston perusteella, tällä mallilla ei voida arvioidaan ilmaston lämpenemisen vaikutusta. Poikkileikkaustilanteesta kerätty aineisto ei kuvaa lämpötilan muutoksen vaikutusta ja kyseisen esimerkin mukaisen mallin lämpösummamuuttuja sisältää tilastollisessa mielessä mittaushetken ilmasto-oloihin sidoksissa olevia useiden muiden tekijöiden vaikutuksia, joita ei ole suoraan otettu malliin (korkeus, maa-perä, sademäärä jne.).

Vaikka mallin perusrakenteet olisivat kunnossa, empiirisillä malleilla tehtyihin

ennusteisiin liittyy epävarmuutta, joka voi johtua sekä mallin laadinta-aineiston että sovellustilanteen lähtöaineiston sisältämästä mittaus- ja otantavirheestä (kuva 3). Malli tai siihen sisältyvät yhtälöt ovat yksinkertaistuksia, joten joitakin tarkasteltavan ilmiön kannalta oleellisia tekijöitä voi puuttua. Joskus tehdään ennakkorajauksia, kuten oletus tasaisesta tilajakaumasta tai populaation tasarakenteisuudesta, jotka aiheuttavat virheitä. Lisäksi pitkäaikaisennusteiden laadinta perustuu usein lyhyemmän aikavälin mallien perättäisiin toistoihin, joissa edellisen kierroksen tulokset ovat ainakin osa seuraavan kierroksen syöttötietoja. Menettelytapa voi johtaa virheiden kumuloitumiseen ja vaikeuttaa suurien järjestelmien aiheuttaman kokonaisvirheen arviointia.



Kuva 3. Mallin tuloksiin vaikuttavat tekijät.

Mallien hyvyttä voidaan arvioida joko teoreettisin perustein tai empiiriseen aineistoon nojautuen (Spriet ja Vansteenkiste 1982, Munro 1989). Teoreettinen arviointi perustuu käsitteiden, rakenteiden, hypoteesien ja oletusten tutkimiseen. Mallin eri ominaisuuksia voidaan verrata muihin vastaavanlaisiin malleihin. Mitä monimutkaisempi malli on, sitä vaikeampaa sen teoreettinen arviointi on. Yleensä mallin arviointi aloitetaan enemmän tai vähemmän syvällisellä teoreettisella tarkastelulla, mutta käytännön tilanteisiin tarkoitetut mallit on syytä aina testata empiirisen aineiston avulla.

Suoraviivaisin tapa biologisten mallien arviointiin on tulosten vertailu testiaineistoon. Tämän lähestymistavan tehokkuus riippuu testimateriaalin laadusta ja

määrästä. Joka tapauksessa se antaa joitakin arvioita mallin hyvyydestä. Paras ratkaisu on verrata mallia soveliaaseen testimateriaaliin taulukoiden, kuvaajen tai tilastollisten menetelmien avulla. Monet tilastotieteen perustyövälineet soveltuvat mallin antaman ennusteen ja vastaavan havaitun kehityksen vertailuun. Esimerkiksi Garrat (1975) ja Steinhorst ym. (1979) käyttivät kovarianssirakenteiden tarkastelua. Freese (1960) ehdotti tilastomatematiikkaan perustuvaa menettelyä, jossa mallia arvioidaan suhteessa käyttäjän tarkkuusvaatimuksiin. Mallin tuottamia arvoja verrataan havaittuihin arvoihin, ja tilastollisten tunnuslukujen avulla päätellään, vastaako tarkkuus asetettuja vaatimuksia. Myöhemmin Reynolds (1984) kehitti lähestymistapaa edelleen.

Ellei uutta tai riippumatonta aineistoa ole saatavilla, alkuperäinen aineisto voidaan jakaa kahtia ja soveltaa ristiintarkistusta (Snee 1977). Vaihtoehtoinen tapa on käyttää mallin laadinnassa koko aineistoa ja yksinkertaisesti tutkia mallia suhteessa laadinta-aineiston eri osiin ja piirteisiin, jotta epäjohdonmukaisuudet paljastuvat (Spriet ja Vansteenkiste 1982). Samoin voidaan selvittää, toteutuvatko alkuperäiset oletukset. Tarkastelussa voidaan käyttää mallin tuottamaa materiaalia kuten korrelogrammeja ja sirontakuvia. Lisäksi herkkyystarkasteluilla voidaan paikantaa ne tuloksiin vaikuttavat tekijät, joihin malli reagoi herkimmin.

Kaksi keskeisintä lähestymistapaa mallien epävarmuuden arviointiin ovat mallien sisältämän virheen paikantaminen ja analysointi sekä ennusteiden epävarmuuden syiden tutkiminen. Edellinen johtaa yleensä herkkyysanalyysiin ja jälkimmäinen virheitä analysoiviin epävarmuustarkasteluihin (Summers ym. 1993). Herkkyystarkastelut tutkivat mallin yksittäisten komponenttien osuutta mallin tuloksissa sekä mallin reagointia vaihteleviin parametrien arvoihin (Spriet ja Vansteenkiste 1982). Analyysi perustuu perättäisiin simulointeihin, joissa tarkasteltavien osatekijöiden arvoja muutetaan muiden pysyessä vakiona. Yksinkertaisin tapa on muuttella vain yhtä parametria kerrallaan jollakin kiinteällä prosentilla. Perinteinen herkkyysanalyysi ei ota huomioon mallin lähtöaineistossa olevien virheiden vaikutusta mallin ennusteisiin. Sen sijaan epävarmuusanalyysi tarkastelee lopputuloksia nimenomaan suhteessa syöttötietoihin (Summers ym. 1993).

Yleensä tilastomatemattisten mallien epävarmuutta kuvataan keskivirheen neliöllä, jonka osatekijöitä ovat tarkasteltavan muuttujan varianssi ja yleinen virhetermi. Epävarmuutta analysoidaan tavallisesti joko Monte Carlo -simuloinnin tai varianssipropagoinnin avulla (Summers ym. 1993, Mowrer ja Frayer 1986). Edellisessä menetelmässä mallia tarkastellaan ulkopäin, ikäänkuin "mustana laatikkona", kun taas jälkimmäisessä tutkitaan mallin komponenttien varianssia mallin käytön aikana. Varianssipropagointi soveltuu tilastollisiin menetelmiin laadittujen mallien tarkasteluun ja siinä tarvitaan tarkistusaineistoa, jossa kaikki mallin muuttujat ovat edustettuina. Monte Carlo -tarkastelussa voidaan pitäytyä mallin kokonaisennusteeseen, eikä mallin sisäiselle rakenteelle aseteta erityisiä vaatimuksia.

Kun Monte Carlo -simulointia sovelletaan mallin epävarmuuden analysointiin, mallin tuottamien ennusteiden jakauma estimoidaan toistetuilla simuloinneilla ja lähtötiedot saadaan poimimalla testiaineistosta arvoja. Lähtötietojen lisäksi voidaan herkkyysanalyysin tapaan muuttella ohjaavia muuttujia ja reunaehtoja (Summers

ym. 1993, Voet ja Mohren 1994). Monte Carlo simulointimentelmät ovat laskentaa vaativia mutta usein käytännöllisiä (Gertner 1987) ja niiden yleiset osat ovat myös käytettävissä uudelleen saman mallin uudelleenarvioinnissa (Summers ym. 1993).

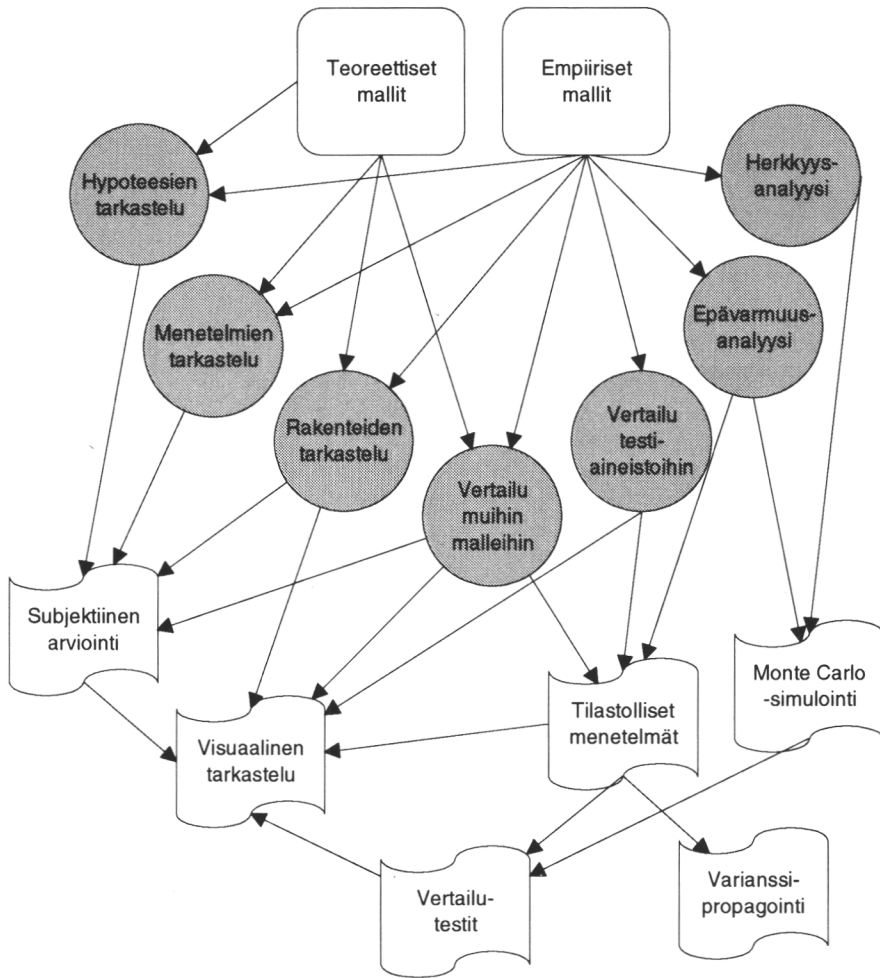
Varianssipropagointi perustuu tilastollisten poikkeamien analysointiin, jota on käytetty jo vuosikymmeniä (Gertner 1988). Mallin tai mallin osien aiheuttama varianssin likiarvo lasketaan soveltamalla Taylorin sarjakehitelmää esimerkiksi yleiseen regressiomuotoiseen kasvuyhtälöön. Sarjakehitelmän kahden ensimmäisen termin avulla voidaan estimoida tulosjakaumien keskiarvot ja varianssit. Toisen kertaluvun varianssipropagoinnissa käytetään myös Taylorin sarjan kolmatta termiä, joka sallii parametrien arvojen suhteen laajemman tarkasteluavaruuden. Myös eksplisiittisiä varianssipropagointimenetelmiä kuten Kalmanin suodatinta (Moore 1973) ja systemaattisia tilastotieteen menetelmiä kuten herkkyyden tarkastelua faktoriaasettelun avulla (MacNeil ym. 1985) ja frekvenssitarkasteluja (Dwyer ja Kremer 1983) on käytetty. Varianssipropagoinnin tulokset heijastavat mallin estimaattien herkkyyttä olosuhteiden vaihteluun, mutta eri näkökulmasta kuin Monte Carlo -menetelmät.

Varianssipropagointimenetelmien suurin heikkous on siinä, että ne tarkastelevat vain pientä vaihtelua alkuperäisen ennusteen ympärillä. Suhteellisen yksinkertainen jakaumien kuvaus, vain keskiarvo ja varianssi, ei huomioi vinojen jakaumien ääriarvoja (Summers ym. 1993). Varianssipropagointi on työlästä eikä sitä voida automatisoida (Gertner 1987, 1988, 1989). Propagointiyhtälöt antavat vain likiarvon "oikeasta" varianssista. On myös muistettava, että kertoimien ja selittävien muuttujien välisistä korrelaatioista aiheutuvat virheet voivat olla merkittävämpiä kuin suhteellisten pienet kiinteät virhevaikutukset, jotka ovat peräisin estimoiduista kertoimista.

## 5 Johtopäätökset

Mallin arviointistrategia ja valittavat kriteerit riippuvat taustalla olevasta lähestymistavasta (kuva 4). Liian harvoin tutkimusraporteissa kirjataan yksittäisten mallien kaikki rajoitukset. Joskus syynä voi olla se, että malleja ei ole suunniteltukaan sovellettaviksi alkuperäisen laadinta-aineiston ulkopuolella. Aiemmin mallit esiteltiin liian usein ilman riittävää luotettavuuden ja hyvyuden arviointia (Reynolds 1984), mutta tilanne on tilastotieteen periaatteiden omaksumisen myötä parantunut. Arvioinnin työvälineeksi on ehdotettu asiantuntijajärjestelmiä, mutta niitä on testattu vain rajattuihin tilanteisiin (vrt. Acock ja Reynolds 1990, Lemmon 1986, Baker ym. 1983).

Käytännössä yksittäisten mallien luotettavuuden arviointi on vaikeaa (Gertner 1987) puhumattakaan monimutkaisten ja useita malleja sisältävien järjestelmien arvioinnista. Mowrer (1989) tutki useita simulointijärjestelmiä, ja totesi mallin lisääntyvän monimutkaisuuden johtavan ennusteiden heikentyvään tarkkuuteen. Lisäksi syöttötiedoissa olevien virheiden todettiin olevan merkittävämpiä kuin



Kuva 4. Mallin hyvyyden arviointimenettelyt.

mallin kertoimissa olevat epävarmuudet.

Mallin hyvyyden arviointia ei voida automatisoida ja se edellyttää vahvaa asiantuntemusta niin tarkasteltavasta ilmiöstä kuin malleistakin. Kokonaisnäkemys syntyy monien eri tarkastelutapojen synteessä, ja subjektiivisen arvioinnin osuus on edelleen merkittävä.

## Kirjallisuus

- Acock, B. & Reynolds, J.F. 1990. Model structure and data base development. Julkaisussa: Dixon, R.K., Meldahl, R.S., Ruark, G.A. & Warren, W.G. (toim.). Process modeling of forest growth responses to environmental stress. Timber Press, Portland, Oregon. s. 169–179.
- Baker, D.N., Lambert, J.R. & McKinion, J.M. 1983. GOSSYM: a simulator of cotton growth and yield. South Carolina Agricultural Experiment Station, Clemson, SC, U.S.A. Bulletin 1089. 134 s.

- Baldwin, V.C., Burkhart, H.E., Dougherty, P.M. & Teskey, R.O. 1993. Using a growth and yield model (PTAEDA2) as a driver for a biological process model (MAESTRO). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. Research Paper SO-276. 9 s.
- Barlow, P.W. 1993. The response of roots and root systems to their environment – an interpretation derived from an analysis of the hierarchical organization of plant life. *Experimental and Environmental Botany* 33(1): 1–10.
- Caswell, H. & John, A.M. 1992. From the Individual to the Population in Demographic Models. *Julkaisussa: DeAngelis, D.L. & Gross, L.J. (toim.). Individual-based models and approaches in ecology: Populations, communities and ecosystems.* Chapman and Hall, New York. s.36–61.
- DeAngelis, D.L. & Gross, L.J. 1992. Preface. *Julkaisussa: DeAngelis, D.L. & Gross, L.J. (toim.). Individual-based models and approaches in ecology: Populations, communities and ecosystems.* Chapman and Hall, New York. s. xv–xviii.
- Dwyer, R.L. & Kremer, J.N. 1983. Frequency-domain sensitivity analyses of an estuarine ecosystem simulation model. *Ecological Modelling* 18: 35–54.
- Freese, F. 1960. Testing accuracy. *Forest Science* 6(1): 139–145.
- Garcia, O. 1988. Growth modelling – a (Re)view. *New Zealand Forestry* 33(3): 14–17.
- Garrat, M. 1975. Statistical techniques for validating computer simulation models. U.S. IBP Grassland Biome, Colorado State University, Fort Collins. Technical Report 286. 68 s.
- Gertner, G.Z. 1987. Approximating precision in simulated projections: An efficient alternative to Monte Carlo methods. *Forest Science* 33: 230–239.
- 1988. Alternative methods for improving the variance approximation of single tree growth and yield projections. *Julkaisussa: Ek, A.R., Shifley, S.R. & Burk, T.E. (toim.). Forest growth modelling and prediction. Proceedings of the IUFRO Conference, August 23–27, 1987, Minneapolis, Minnesota.* USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station. General Technical Report NC-120: 739–746.
- 1989. Artificial intelligence and forest growth simulation modeling. *Julkaisussa: Burkhart, H.E., Rauscher, H.M. & Johann, K. (toim.). Artificial intelligence and growth models for forest management decisions. Proceedings of a meeting held in Vienna, Austria, September 18–22, 1989.* Virginia Polytechnic Institute and State University, School of Forestry and Wildlife Resources, Blacksburg, Virginia, USA. Publication FWS-1-89: 244–250.
- Hari, P., Kellomäki, S., Mäkelä, A., Ilonen, P., Kanninen, M., Korpilahti, E. & Nygren, M. 1982. Dynamics of early development of tree stand. *Acta Forestalia Fennica* 177. 39 s.
- , Nikinmaa, E. & Holmberg, M. 1990. Photosynthesis, transpiration, and nutrient uptake in relation to tree structure. *Julkaisussa: Dixon, R.K., Meldahl, R.S., Ruark, G.A. & Warren, W.G. (toim.). Process modeling of forest growth responses to environmental stress.* Timber Press, Portland, Oregon. s. 41–49.
- Huston, M., DeAngelis, D. & Post, W. 1988. New computer models unify ecological theory. *BioScience* 38: 682–691.
- Isebrands, J.G., Rauscher, H.M., Crow, T.R. & Dickmann, D.I. 1990. Whole-tree growth process models based on structural-functional relationships. *Julkaisussa: Dixon, R.K., Meldahl, R.S., Ruark, G.A. & Warren, W.G. (toim.). Process modeling of forest growth responses to environmental stress.* Timber Press, Portland, Oregon. s. 96–112.
- Kimmins, J.P., Scoullar, K.A., Comeau, P.G., Kurz, W.A., Apps, M.J. & Chatarpaul, L. 1988. FORCYTE-11: An example of the hybrid simulation approach to predicting the consequences for production, yield, economics, soil fertility, nutrient and organic matter reserves, and energy efficiency of alternative crop production systems. *Julkaisussa: Ek, A.R., Shifley, S.R. & Burk, T.E. (toim.). Forest growth modelling and prediction. Proceedings of the IUFRO Conference, August 23–27, 1987, Minneapolis, Minnesota.* USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station. General Technical Report NC-120: 305–314.
- King, A.W., Emanuel, W.R. & O'Neill, R.V. 1990. Linking mechanistic models of tree physiology with models of forest dynamics: problems of temporal scale. *Julkaisussa: Dixon, R.K., Meldahl, R.S., Ruark, G.A. & Warren, W.G. (toim.). Process modeling of forest growth responses to envi-*

- ronmental stress. Timber Press, Portland, Oregon. s. 241–248.
- Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and yield tables. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 51(8). 49 s.
- Kuuluvainen, T., Kanninen, M. & Salmi, J.P. 1988. Tree architecture in young Scots pine. *Silva Fennica* 22(2): 147–161.
- Leersnijder, R.P. 1992. PINOGRAM: A pine growth area model. *Ecological Modelling* 61(1–2): 1–147.
- Lemmon, H. 1986. COMAX – an expert system for cotton crop management. *Science* 233: 29–33.
- Lomnicki, A. 1992. Population ecology from the individual perspective. *Julkaisussa: DeAngelis, D.L. & Gross, L.J. (toim.). Individual-based models and approaches in ecology: Populations, communities and ecosystems.* Chapman and Hall, New York. s. 3–17.
- Luxmoore, R.J., Tharp, M.L. & West, D.C. 1990. Simulating the physiological basis of tree-ring responses to environmental changes. *Julkaisussa: Dixon, R.K., Meldahl, R.S., Ruark, G.A. & Warren, W.G. (toim.). Process modeling of forest growth responses to environmental stress.* Timber Press, Portland, Oregon. s. 393–401.
- MacNeil, M.D., Skiles, J.W. & Hanson, J.D. 1985. Sensitivity analyses of a general rangeland model. *Ecological Modelling* 29: 57–76.
- Maryanski, F.J. 1980. Digital computer simulation. Hayden Book Company, New Jersey. 328 s.
- Moore, S.F. 1973. Estimation theory applications to design of water quality monitoring systems. *Proceedings of the American Society of Civil Engineering, Journal of Hydrologic Division*, 99: 815–833.
- Mowrer, H.T. & Frayer, W.E. 1986. Variance propagation in growth and yield projections. *Canadian Journal of Forest Research* 16(6): 1196–1200.
- Mowrer, T. 1989. The effect of forest simulation model complexity on estimate precision. *Julkaisussa: Burkhart, H.E., Rauscher, H.M. & Johann, K. (toim.). Artificial intelligence and growth models for Forest Management decisions.* Proceedings of a meeting held in Vienna, Austria, September 18–22, 1989. Virginia Polytechnic Institute and State University, School of Forestry and Wildlife Resources, Blacksburg, Virginia, USA. Publication FWS-1-89: 100–109.
- Munro, D. 1989. Field trials for growth model validation. *Julkaisussa: Burkhart, H.E., Rauscher, H.M. & Johann, K. (toim.). Artificial intelligence and growth models for Forest Management decisions.* Proceedings of a meeting held in Vienna, Austria, September 18–22, 1989. Virginia Polytechnic Institute and State University, School of Forestry and Wildlife Resources, Blacksburg, Virginia, USA. Publication FWS-1-89: 110–118.
- Mäkelä, A. 1990. Modeling structural-functional relationships in whole-tree growth: resource allocation. *Julkaisussa: Dixon, R.K., Meldahl, R.S., Ruark, G.A. & Warren, W.G. (toim.). Process modeling of forest growth responses to environmental stress.* Timber Press, Portland, Oregon. s. 81–95.
- Nikinmaa, E. 1993. Analyses of the growth of Scots pine; matching structure with function. *Seloste: Analyysi männyn kasvusta: rakenteen sopeutumista aineenvaihduntaan.* *Acta Forestalia Fennica* 235. 68 s.
- Nyysönen, A. ja Mielikäinen, K. 1978. Metsikön kasvun arviointi. Summary: Estimation of stand increment. *Acta Forestalia Fennica* 163. 40 s.
- Oldeman, R.A.A. 1990. *Forests: Elements of Silvology.* Springer-Verlag, New York. 624 s.
- Reynolds, M.R. Jr. 1984. Estimating the error in model prediction. *Forest Science* 30(2): 454–469.
- Sharpe, P.J.H. 1990. Forest modeling approaches: compromises between generality and precision. *Julkaisussa: Dixon, R.K., Meldahl, R.S., Ruark, G.A. & Warren, W.G. (toim.). Process modeling of forest growth responses to environmental stress.* Timber Press, Portland, Oregon. s. 180–190.
- Snee, R.D. 1977. Validation of regression models: Methods and examples. *Technometrics* 19(4): 415–428.
- Spriet, J.A. & Vansteenkiste, G.C. 1982. *Computer-aided modelling and simulation.* Academic Press, London. 490 s.
- Steinhorst, R.K., Hunt, H.W., Innis, G.S. & Haydock, K.P. 1979. Sensitivity analyses of the ELM

- model. Julkaisussa: Innis, G.S. (toim.). 1978. Grassland simulation model. Ecological Studies. Springer-Verlag, New York. s. 231–255.
- Summers, J.K., Wilson, H.T. & Kou, J. 1993. A method for quantifying the prediction uncertainties associated with water quality models. Ecological Modelling 65: 161–176.
- Whisler, F.D., Acock, B., Baker, N.D., Fue, R.E., Hodges, H.F., Lambert, J.R., Lemmon, H.E., McKinion, J.M. & Reddy, V.R. 1986. Crop simulation models in agronomic systems. Academic Press. s. 141–208.
- van der Voet, H. & Mohren, G.M.J. 1994. An uncertainty analysis of the process-based growth model FORGRO. Julkaisussa: Mohren, G.M.J. (toim.). Contrasts between biologically-based process models and management-oriented growth and yield models. Papers presented at the IUFRO S4.01 conference, held in Wageningen, Netherlands, 2–6 September 1991. Forest Ecology and Management 69: 157–166.

# **Puuston kehityksen ennustaminen metsätalouden suunnittelulaskelmissa – katsaus MELA-järjestelmän uusiin kasvumalleihin**

---

**Jari Hynynen**  
**Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus**  
**PL 18, 01301 Vantaa**

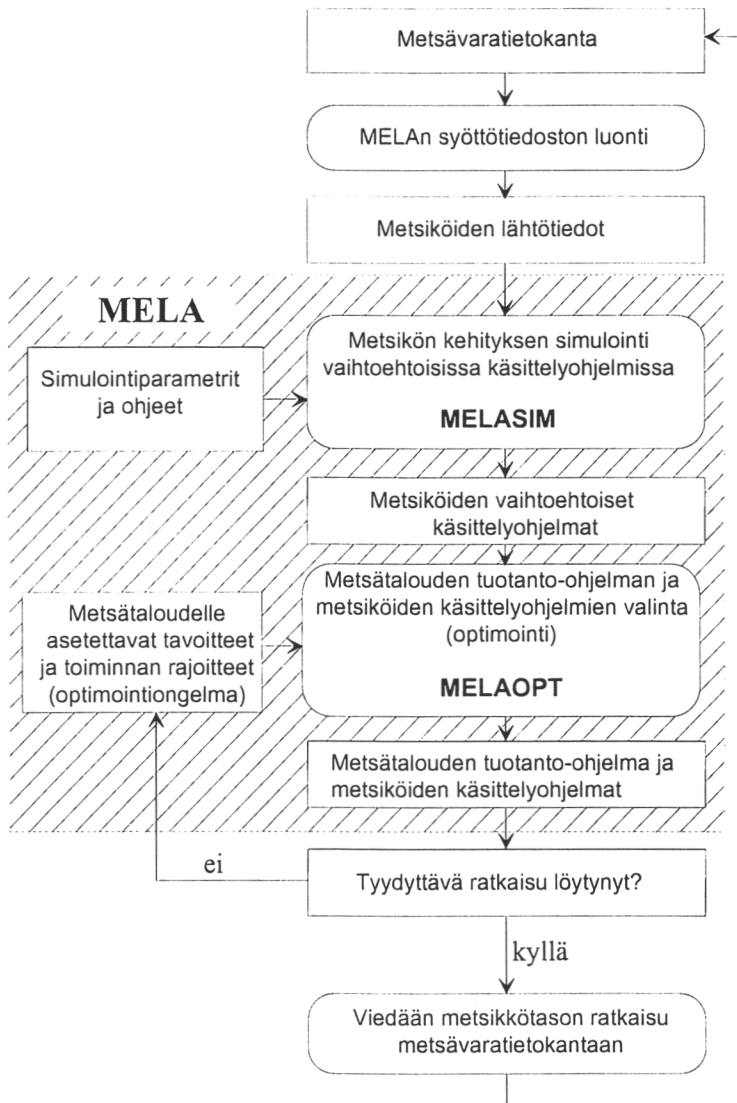
## **1 Johdanto**

Metsätalouden suunnittelun perustaksi tarvitaan ajantasaista tietoa olemassa olevista metsävaroista ja niiden kehityksestä. Päätöksenteon tueksi tarvitaan lisäksi tietoja metsätalouden tuotoista ja kustannuksista sekä metsätalouden harjoittamisen tavoitteista ja toiminnan rajoitteista. MELA-järjestelmä on Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetty metsätaloutta kuvaava ja metsätalouden suunnittelutehtäviä ratkaiseva ohjelmisto, jonka avulla pyritään kokoamaan kaikki metsätalouden suunnittelun päätöksentekoon vaikuttavat tekijät koko metsätaloutta kuvaavaksi tietojärjestelmäksi (Siitonen 1994). MELA-järjestelmän avulla pyritään löytämään kuhunkin päätöksentekotilanteeseen soveltuva optimaalinen metsien tuotanto-ohjelma.

MELA-järjestelmä kehitettiin alunperin suuralueen metsätalouden pitkän ajan suunnittelujärjestelmäksi. Suomen metsien käyttömahdollisuuksien selvittäminen on edelleenkin MELA-järjestelmän kehittämisen ja soveltamisen keskeisimpiä kohteita (Metsä 2000 1985, Siitonen 1990). MELA-järjestelmä on todettu kuitenkin käyttökelpoiseksi myös metsätalouden strategiseen ja operatiiviseen suunnitteluun yrityksissä ja metsälötasolla. Sen lisäksi MELA-järjestelmää on sovellettu tutkimuksessa ja opetuksessa (Siitonen 1994).

MELA-järjestelmä jakautuu kolmeen pääosaan 1) metsävaratietojen käsittely simulointia varten, 2) metsän tulevien käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen tuottaminen (simulointi) yksittäisen puun kasvumalleihin perustuvalla metsikkösimulaattorilla ja 3) tuotanto-ohjelman valinta JLP optimointiohjelmistolla (Lappi 1992), jonka avulla voidaan ratkaista monipuolisia ja laajoja optimointitehtäviä (kuva 1).

MELA-järjestelmässä metsä kuvataan laskentayksikkönä, joka tulkitaan käsittelykuvioksi. Sovellustilanteesta riippuen laskentayksikkö voi koostua useasta



Kuva 1. Kaavio MELA-järjestelmän käytöstä metsätalouden tuotanto-ohjelman ja metsiköiden käsittelyohjelmien valinnassa (Siitonen ym. 1995).

koelasta tai yhdestä metsikkökuvioista. Metsätalouden suunnittelutehtävien ratkaisussa sovelletaan tavoitelähtöistä tarkastelutapaa. Ajankohtaisten metsävaratietojen ja metsissä tehtäviä toimenpiteitä koskevien tietoja ohella järjestelmän lähtötiedoiksi annetaan metsätaloudelle asetettavat tavoitteet sekä toiminnan rajoitteet. Metsätaloustalouden tuotanto-ohjelman ja metsiköiden käsittelyohjelmien valitsemiseksi MELA-järjestelmässä simuloidaan useita toteutettavissa olevia käsittelyvaihtoehtoja jokaiselle metsikölle (laskentayksikölle). Näistä eri vaihtoehdoista valitaan lineaarista optimointia apuna käyttäen samanaikaisesti sekä koko metsätalouden tuotanto-ohjelma että yksittäisten metsiköiden käsittely- ja kasvatusohjelmat,

jotka perustuvat päätöksentekijän tavoitteisiin (Siitonen 1994).

Vuonna 1996 Metsäntutkimuslaitoksessa tehdään uusi koko maan kattava metsien käyttömahdollisuuksien selvitys. Sitä varten MELA-järjestelmään tullaan liittämään uudet luonnonprosesseja kuvaavat mallit. Tässä raportissa tarkastellaan eräitä mallien laadintaan liittyviä keskeisiä näkökohtia, esitellään MELA-järjestelmän luonnonprosessien simuloinnin pääperiaatteet sekä puuston kehitystä kuvaavat mallit.

## 2 MELA-järjestelmän kasvumalleille asetettavat vaatimukset

Metsätalouden suunnittelussa käytettäville kasvumalleille voidaan asettaa useita erilaisia vaatimuksia riippuen tavoitteen asettelusta ja päätöksentekotasosta, jossa malleilla laskettuja kehitysennusteita sovelletaan. Burkhart (1993) on luokitellut kasvu- ja tuotomallien tuottaman informaation seuraaviin luokkiin 1) inventointitietojen päivitys, 2) metsänhoidollisten käsittelyiden vaikutusten arviointi 3) metsätalouden suunnittelu ja 4) puunkorjuun suunnittelu.

Ei ole olemassa yhtä ja ainoata kasvumallia, joka toimisi moitteettomasti kaikissa yllä esitetyissä tilanteissa. MELA-järjestelmää ja sen kasvumalleja sovelletaan kuitenkin metsätalouden suunnittelussa eri tasoilla etsittäessä vastauksia erilaisiin suunnitteluongelmiin. MELA-järjestelmän simulointimalleja laadittaessa onkin kiinnitetty erityistä huomiota mallien harhattomuuteen ja perusteltuun rakenteeseen.

Metsätalouden suunnittelussa käytettävien kasvumallien tulisi kyetä antamaan harhaton ennuste metsävarojen kehityksestä. Tuon tavoitteen toteuttamiseksi mallien laadinnassa on käytettävä mahdollisimman edustavia empiirisiä mittausaineistoja. Valtakunnan metsien inventointiaineistoon sisältyy luotettavin saatavilla oleva informaatio maamme metsävaroista. VMI-aineistoa käytetäänkin MELA-järjestelmässä sekä mallien laadinta-aineistona että metsävarojen kehitysennusteiden lähtötietona. MELA-järjestelmään liitettäviltä kasvumalleilta edellytetäänkin yhteensopivuutta VMI-aineiston kanssa. Malleissa esiintyvät kasvua selittävät muuttujat tulee rajoittaa sellaisiin tunnuksiin, joita metsistä kerätään inventointien yhteydessä. Kasvumallien laadinnan kannalta se merkitsee pitäytymistä suhteellisen yksinkertaisiin mallirakenteisiin ja pieneen valikoimaan selittäviä tunnuksia. Malleja laadittaessa on tehtävä toisinaan karkeitakin yksinkertaistuksia ja yleistyksiä.

Metsätalouden suunnittelun ja metsäpolitiikan päätöksenteon tueksi tarvitaan pitkän ajan ennusteita metsävarojen kehityksestä. Pitkän aikavälin simuloinneissa käytettävien kasvumallien tulee olla rakenteeltaan hyvin suunniteltuja, jotta niiden toiminta olisi loogista kaikissa tilanteissa, myös silloin, kun niitä sovelletaan olosuhteissa, joita mallien laadinta-aineistoissa ei esiinny. Mallien sisältämien muuttujien välisten riippuvuussuhteiden kuvauksen tulee perustua biologiseen ja ekologiseen tietämykseen ja riippuvuudet tulee mallittaa käyttäen funktioita, jotka soveltuvat biologisten ilmiöiden loogiseen kuvaukseen.

Erilaisten metsänkäsittelyvaihtoehtojen vertailu on keskeinen osa metsätalouden suunnittelua. Kasvumallien tulee kyetä ennustamaan luotettavasti erilaisten metsänkäsittelytapojen vaikutukset puuston kehitykseen. Esimerkkinä voidaan mainita erilaisten harvennusohjelmien, harvennusten voimakkuuden ja niiden ajoittumisen vaikutusten tarkastelu metsän kasvuun.

### 3 Mallien laadinta-aineistot

MELA-järjestelmän kasvumallien laadinnassa käytetään empiirisiä aineistoja, jotka muodostavat edustavan otoksen metsistämme. Nykyisen MELA-järjestelmän kasvu- ja tuotomallit perustuvat pääosin valtakunnan metsien 7. inventoinnin puustokoeala-aineistoon (Ojansuu ym. 1991).

Myös uudet kasvumallit perustuvat edustavaan laadinta-aineistoon. Kivennäismaiden kasvumallien laadinta-aineistoina käytetään VMI6:n ja VMI7:n koealaverkostoon sidottuja INKA- ja TINKA-koealasarjoja (Vuokila 1986, Gustavsen ym. 1988). Molemmat koesarjat sisältävät toistuvasti mitattavia pysyviä kasvukoealoja. INKA-kokeet on perustettu kasvatusvaiheen talousmetsiin ja ne on tähän mennessä mitattu kolme kertaa viiden vuoden välein. TINKA-kokeet on perustettu puolestaan havupuuvaltaisiin taimikoihin, joista on tällä hetkellä käytettävissä mittaus-tiedot kahdelta peräkkäiseltä mittauskerralta. Koivun kasvumallien laadinta-aineistoina käytetään lisäksi Metsäntutkimuslaitoksen keräämää mittausaineistoa viljelykoivikoista ja toistuvasti mitatuilta metsikkökokeilta.

Turvemaiden kasvumallit perustuvat valtakunnan metsien 8. inventoinnin yhteydessä perustetuilta pysyviltä koealoilta kerättyyn mittausaineistoon ja toistuvasti mitatuilta SINKA-kasvukoealoilta kerättyyn aineistoon. Yhteensä kasvumallien laadinta-aineistot käsittävät noin 3 000 metsikkökoealaa, joilta on mitattu noin 85 000 puuta (taulukko 1).

Taulukko 1. MELA-järjestelmän uusien kasvumallien laadinta-aineiston laajuus vallitsevan puulajin mukaan ryhmiteltynä.

	Mänty	Kuusi	Koivu
Kivennäismaiden metsiköt			
Koealojen lukumäärä	802	269	166
Puiden lukumäärä	24 500	8 650	1 550
Turvemaiden metsiköt			
Koealojen lukumäärä	696	463	607
Puiden lukumäärä	24 300	6 700	19 400

Edustavien empiiristen aineistojen lisäksi mallien rakenteen suunnittelussa ja laadinnassa on käytetty hyväksi kokemuksia useista aikaisemmista mallitus-tutkimuksista, joiden aineistot ovat peräisin toistuvasti mitatuilta kestokokeilta ja joiden yhteydessä laaditut kasvumallit kuvaavat erilaisten metsänhoidollisten käsittelyiden, kuten harvennuksen ja lannoituksen vaikutusta puuston kehitykseen (Kukola ja Saramäki 1983, Hynynen 1995a, Hynynen 1995b).

## **4 Luonnonprosessien simulointi MELA-järjestelmässä**

### **4.1 Kasvupaikan kuvaus**

Kasvupaikkaan liittyvät ominaisuudet heijastuvat kaikkiin luonnonprosesseihin. Kasvupaikkaa kuvaavat tunnuksat ovatkin kasvumallien keskeisiä kasvun selittäjiä. Puiden kasvun kannalta olennainen kasvupaikan ominaisuus on tuotoskyky. Sitä kuvataan yleisesti joko metsätyypin tai pituusboniteetin avulla. Nykyisessä MELAn kasvumalleissa kasvupaikka kuvataan metsätyyppiluokituksen avulla täydennettynä ilmastomuuttujilla (Ojansuu ym. 1991). Uusia kasvumalleja laadittaessa katsottiin tarpeelliseksi uudistaa myös kasvupaikan kuvausmenetelmä.

Kasvupaikkaa kuvaavat tunnuksat voidaan jakaa pysyviin ja muuttuviin kasvupaikkatekijöihin. Puiden kasvuun vaikuttavina pysyvinä kasvupaikkatekijöinä voidaan pitää ilmastoa, topografiaa sekä kasvupaikan kosteus- ja ravinneoloja. Puiden kasvuun vaikuttavat lisäksi muuttuvat kasvupaikkatekijät, joita ovat mm. vallitseva puulaji, aluskasvillisuus ja metsikön käsittelyhistoria.

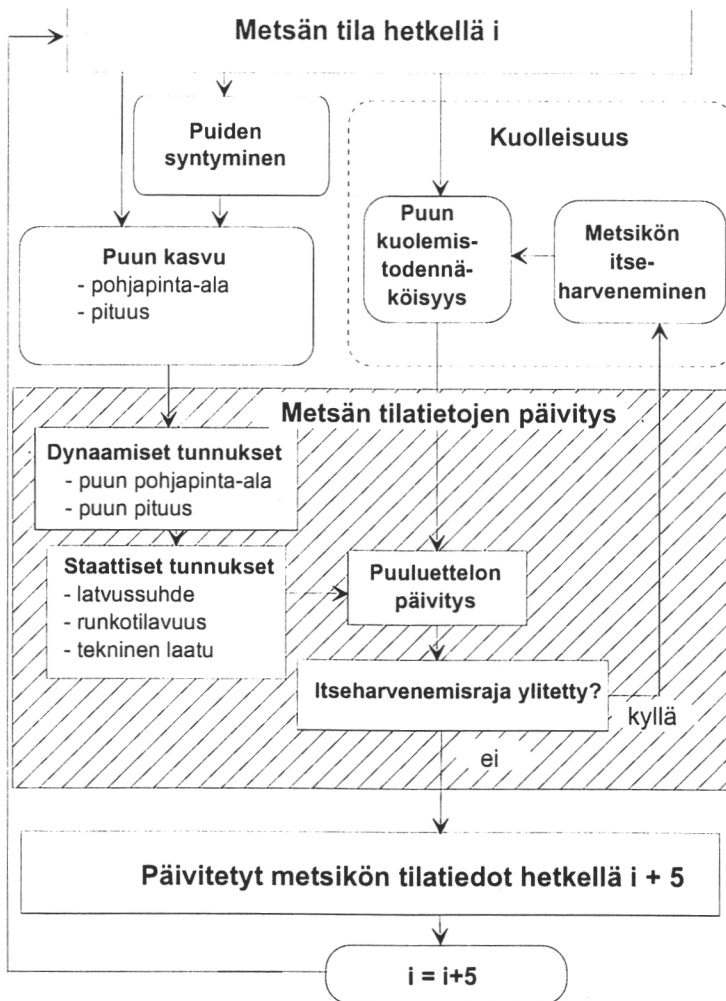
Kasvupaikan kuvauksen tavoitteena on laatia menetelmä, jossa voidaan tehokkaasti hyödyntää tieto pysyvistä ja muuttuvista kasvutekijöistä sekä puustosta tehdyistä mittauksista ennustettaessa kasvupaikan tuotoskykyä. Kivennäismailla kasvupaikan tuotoskykyä kuvaavana tunnuksena käytetään valtapuiden pituuden kasvunopeutta. Se ennustetaan mallilla, jonka antaman ennusteen tarkkuus riippuu käytettävissä olevan informaation laadusta ja tarkkuudesta. Mallilla saadaan korkean tason ennuste silloin, kun käytettävissä on ainoastaan tiedot ensisijaisista kasvutekijöistä. Ennuste tarkentuu, jos tiedetään vallitseva puulaji, metsätyyppi ja metsiköstä on saatavilla mitattua puustosta. Tarkimmillaan ennuste on silloin, kun käytettävissä on em. tietojen lisäksi peräkkäisiä mittaushavaintoja puiden pituuksista ja iästä. Valtapituuden kasvunopeuden avulla voidaan kuvata puiden pituuskasvun riippuvuus kasvupaikan tuotoskyvystä. Puiden läpimitan kasvumalleissa täydentävinä kasvupaikkamuuttujina käytetään lisäksi ilmastomuuttujaa (lämpösumma).

Ojitetuilla turvemaiilla kasvupaikan vesitalouden muutos heijastuu kasvupaikan tuotoskyvyn muutoksena, minkä vuoksi kasvupaikkaa ei voida pitää yhtä stabiilina kuin kivennäismailla. Sen vuoksi puiden pituuskasvuun perustuva kasvupaikan tuotoskyvyn tunnus ei ole käyttökelpoinen ojitetuilla turvemaiilla. MELA-järjestelmässä soiden kasvupaikka kuvataan VMI:ssä sovelletulla kasvupaikkaluokituksella, jota täydennetään tiedolla ojituksesta kuluneesta ajasta.

## 4.2 Simuloinnin kulku

Metsikön luonnonprosesseja kuvataan puiden syntymistä, kasvua ja kuolemista ennustavilla malleilla. Lisäksi simuloinnissa sovelletaan monia apumalleja muun muassa kasvupaikan puuntuotoskyvyn määrittämiseksi, puun runkotilavuuden, latvuksen piteuden sekä rungon teknisen laadun ennustamiseksi. Simuloinnin aikaaskel on viisi vuotta, ts. metsikön tilaa kuvaavat tiedot päivitetään viiden vuoden välein (kuva 2).

Metsikön puusto kuvataan ns. kuvauspuiden avulla, joiden kehitystä ohjelmassa simuloidaan. Kuvauspuut poimitaan simuloitavan metsikön runkolukusarjasta niin, että kukin kuvauspuu edustaa tiettyä osaa metsikön koko puustosta, joka ilmaistaan kuvauspuun edustamana hehtaarikohtaisena runkolukuna.



Kuva 2. Kaaviokuva luonnonprosessien simuloinnista MELA-järjestelmässä.

Syntymismallien avulla ennustetaan puiden kehitys 1,3 metrin pituuteen saakka. Tulevan viisivuotiskauden aikana 1,3 metrin pituuden saavuttavan puuston runkoluku ja kokorakenne ennustetaan taulukkomalleilla, jotka perustuvat taimikoinventoinneista kerättyihin tietoihin. Syntymismalleilla ennustetaan luontaisen taimien syntyminen koko metsikön kehityksen aikana. Luontaisesti syntyvien taimien lukumäärä riippuu metsikön puuston määrästä ja iästä, maanpinnan käsitte-lystä ja metsikön maantieteellisestä sijainnista. Taimien pituuskasvu kuvataan mallilla, joka ennustaa rinnankorkeuden saavuttamiseen kuluvan ajan. Se ennustetaan kasvupaikkatyyppin, lämpösumman, uudistamismenetelmän ja puuston tiheyden avulla.

Puuston kasvumallit ennustavat yksittäisen puun poikkileikkauspinta-alan ja puun pituuden kasvun tulevan viiden vuoden aikana. Malleissa kasvun oletetaan riippuvan kasvupaikan tuotoskyvystä, puun ja sen latvuksen koosta, metsikön tiheydestä ja puun asemasta metsikössä suhteessa kilpaileviin puihin. Mallit on laadittu erikseen kivennäismaiden ja turvemaiden männylle, kuuselle ja koivulle. Metsikön puulajisekoitus (ns. sekametsävaikutus) on otettu malleissa huomioon esittämällä puuston suhteellinen tiheys puulajeittain. Koska erilaisten metsänkäsittelyvaihtoehtojen kasvupaikatuksen tarkastelu on oleellinen osa MELA:n käyttöä, kasvumalleilla voidaan ennustaa harvennuksen ja lannoituksen vaikutus puun kasvuun.

Turvemaiden kasvumalleissa kasvutekijät ovat pääosin samat kuin kivennäismaillaakin. Turvemaille kasvuun vaikuttavana erityispiirteenä on ojituksesta kulunut aika, joka on malleissa mukana yhtenä kasvun selittäjänä. Turvemaille puiden pituus ennustetaan staattisten pituusmallien avulla.

Luonnonpoistuman ennustamiseksi MELAssa sovelletaan puutason mallia, joka ennustaa puun kuolemistodennäköisyyden tulevan viiden vuoden kasvujakson aikana. Mallia sovelletaan siten, että kuvauspuun edustamaa hehtaariohtaista runkolukua pienennetään kuolemistodennäköisyyden verran. Tähänastisten kokemusten perusteella on kuitenkin havaittu, että puutason kuolemissmallit eivät ota riittävästi huomioon puuston tiheyden vaikutusta puun kuolemistodennäköisyyteen, minkä seurauksena puuston tiheys saattaa kasvaa epärealistisen suureksi harventamattomina kasvatettavissa metsissä. Sen vuoksi puutason mallin lisäksi luonnonpoistuman määrää säädellään metsikkötason itseharvenemisrajaa ennustavalla mallilla (Hynynen 1993).

Simulointiaskeleen lopussa eräät puuta kuvaavat tunnuksat lasketaan staattisten mallien avulla. Puun latvussuhde on yksi keskeinen kasvua selittävä tunnus kasvumalleissa. Sen vuoksi latvussuhteen ennustamiseksi on laadittu malli, jota voidaan käyttää puuston simuloinnin aikana. Mallilla voidaan myös ennustaa puiden latvussuhteet sellaisissa simuloinnin lähtötietoina käytettävissä aineistoissa, joissa puiden latvussuhdetta ei ole maastossa mitattu. Mallin avulla voidaan ennustaa puun elävän latvuksen osuus puun pituudesta, kun tunnetaan puun pituus, läpimitta, metsikön pohjapinta-ala ja metsikön valtapituus (Hynynen 1995a). Puiden runkotilavuus lasketaan Laasasenahon (1982) tilavuusyhtälöillä. Myös puun teknistä laatua kuvaavat tunnuksat ennustetaan staattisten mallien avulla.

Kun kaikki tarvittavat puutunnukset on päivitetty, lasketaan metsikkötason tunnukset kuten puuston pohjapinta-ala, valtapituus ja kokonaistilavuus kuvauspuiden tunnuksia summaamalla.

## 5 Päätelmät

MELA-järjestelmän luonnonprosessien simulointimallien uusimisella haluttiin parantaa järjestelmän toimivuutta eräillä sen keskeisillä sovellusalueilla. Uusien mallien ansiosta saadaan entistä luotettavampia kehitysnusteet ojitetuilla turve- mailla kaikille puulajeille sekä kivennäismailla koivikoille.

Metsien käsittelyssä on tapahtunut viime vuosina ja tapahtunee myös lähitulevaisuudessa muutoksia, joiden vaikutuksista ei vielä ole selkeää käsitystä. Muun muassa metsien ensiharvennukset ovat viivästyneet harvennuksen taloudellisen kannattavuuden heikentyessä. Tällaisten harvennusrästien vaikutuksista metsien kehitykseen ei toistaiseksi ole voitu esittää tutkimukseen perustuvia arvioita. Tämän kaltaisiin metsänhoito- ja käsittelymenetelmien aiheuttamien vaikutusten arviointiin MELA-järjestelmä soveltuu entistä paremmin uusien kasvumallien käyttöön oton myötä.

Uusien kasvumallien valmistumisesta huolimatta MELAn mallivalikoimaa tullaan lähivuosina edelleen kehittämään ja laajentamaan. Kun tässä vaiheessa on keskitytty lähinnä kasvun ja kuoleamisen ennustemallien uusimiseen, lähiajan tärkeimpänä tavoitteena on uudistaa metsikön syntymistä ennustavat mallit. Myös puiden teknistä laatua kuvaavien mallien laadinnassa riittää vielä työtä lähivuosiksi. Erilaisten metsää koskevien tuhojen ennustemallit puuttuvat MELA-järjestelmästä toistaiseksi kokonaan. Ensimmäisenä työvaiheena tällä alueella ollaan parhailaan aloittamassa mallitustyötä Etelä-Suomen kuusikoissa esiintyvän maannousemasienen leviämisen ja sen aiheuttamien tuhojen ennustamiseksi.

## Kirjallisuus

- Burkhardt, H.E. 1993. Tree and stand models in forest inventory. Julkaisussa: Nyysönen, A., Poso, S. & Rautala, J. (toim). Proceedings of Ilvessalo symposium on national forest inventories. (IUFRO S4.02), Finland, 17–21 Aug. 1992. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 444: 164–170.
- Gustavsen, H.G., Roiko-Jokela, P & Varmola, M. 1986. Kivennäismaiden talousmetsien pysyvät (INKA ja TINKA) kokeet. Suunnitelmat, mittausmenetelmät ja aineistojen rakenteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 292. 212 s.
- Hynynen, J. 1993. Self-thinning models for even-aged stands of *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula pendula*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 326–336.
- 1995a. Predicting tree crown ratio for unthinned and thinned Scots pine stands. *Canadian Journal of Forest Research* 25: 57–62.
- 1995b. Modelling tree growth for managed stands. Väitöskirja. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 576. 59 + 76 s.
- Kukkola, M. & Saramäki, J. 1983. Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soils. Seloste: Toistuvalla lannoituksella saatava kasvunlisäys kivennäismaiden männi-

- köissä ja kuusikoissa. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 114. 55 s.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt. Communications Institutii Forestalis Fenniae* 108. 74 s.
- Lappi, J. 1992. JLP: A linear programming package for management planning. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 414. 134 s.
- Metsä 2000. Metsien hoidon ja käsittelyn työryhmän raportti. 1985. *Talousneuvosto*. 113 + 81 s.
- Ojansuu, R., Hynynen, J., Koivunen, J., and Luoma, P. 1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA) – Metsä 2000 -versio. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja*. 385. 59 s.
- Siitonen, M. 1990. Suomen metsävarat 1990 ja metsien kehitysmahdollisuudet 1990–2030. *Selvitys Metsä 2000 -ohjelman tarkistustoimikunnalle. Moniste. Metsäntutkimuslaitos*. 56 s.
- 1994. MELA vuonna 2000. MELA-järjestelmän kehittämisen perusteita ja tavoitteita. *Julkaisussa: Niemeläinen, P., Kangas, J. & Päivinen, R. (toim.). Integroidun metsäsuunnittelun menetelmiä ja välineitä. Integroidun metsällisen päätöksenteon tukijärjestelmä (IMPJ) -yhteistutkimushankkeen loppuseminaari 2.2.1994. Joensuun yliopisto. Metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja* 16: 87–102.
- , Härkönen, K., Hirvelä, H., Jämsä, J., Salminen, O & Teuri, M. 1995. *MELA handbook. Version 1995. Metsäntutkimuslaitos. (käsikirjoitus)*.
- Vuokila, Y. 1986. Puuntuotoksen tutkimussuunnan kestokokeiden periaatteita ja suunnitelmia. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 239. 229 s.

# Suometsien kasvu- ja tuotostutkimus – tuloksia ja lähiajan tavoitteita

---

Timo Penttilä  
Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema  
PL 16, 96301 Rovaniemi

## 1 Johdanto

Suomessa on ojitettu soita ja soistuneita kankaita metsänkasvatusta varten vajaat kuusi miljoonaa hehtaaria. Jo ennen laajamittaisen ojitustoiminnan alkua metsäntutkijat olivat kiinnostuneet kuivatuksen puuntuotosvaikutuksista, sillä runsaasti lupaavia esimerkkejä puiden kasvun paranemisesta luonnostaan kuivuneilla soilla tai eri tarkoituksiin kaivettujen suo-ojien vaikutuksesta oli jo tuolloin tiedossa. Erityisesti Multamäen (1923) ja Lukkalan (1929, 1937) tutkimusten ansiosta ainakin Etelä-Suomessa tunnettiinkin varsin hyvin ojituksen vaikutus eri tyyppisten soiden puuston kasvuun jo 1930-luvulla.

Soiden metsänkasvatuskelpoisuuteen liittyvää tutkimusta jatkettiin ponnekkaasti 1950-luvun lopulta aina 1970-luvun alkupuolelle. Heikuraisen (1959), Seppälän (1969) sekä Heikuraisen ja Seppälän (1973) tuotostutkimusten sekä niihin liittyvien taloudellisten tarkastelujen (esim. Heikurainen 1973, Keltikangas ja Seppälä 1966, 1973) perusteella saatiin vankka pohja käytännön metsäojituskohteiden valinnan ohjausta varten. Myös eri suotyyppien suurinta saavutettavissa olevaa puuntuotoskykyä on selvitetty (Huikari ym. 1967). Eri suotyyppien metsänkasvatuskelpoisuuden kriteerejä on edelleen tarkennettu valtakunnallisen ojitusalueinventoinnin tulosten (Keltikangas ym. 1986) perusteella. Uudisojituksen yhteyteen tai sitä seuraavaan elpymisvaiheeseen kytkeytyviin metsänhoidon kysymyksiin, kuten kasvatettavan puuston ja puulajin valintaan saatiin niinikään vastauksia, joita edellä mainittujen tutkimusten sekä muiden erillisselvitysten tuloksista on koottu mm. alan oppikirjoihin (esim. Päivänen 1990).

Uudisojitusvaiheen päätyttyä metsien kasvatuksen, ojitusalueiden kasvuolojen ylläpidon ja puusatojen hyödyntämisen kysymykset ovat tulleet entistä ajankohtaisemmiksi. Aikanaan luonnontilaisten suotyyppien metsänkasvatuskelpoisuuden arviointia varten tehdyillä tuotostutkimuksilla ei ole pyrittykään vastaamaan metsätalouden suunnittelun edellyttämien kasvuennusteiden tarpeisiin tai ojitusalue-metsiköiden kasvatuksen ja uudistamisen optimoinnin ongelmiin. Metsäntutkimus-

laitoksen tutkimuspanostusta on erityisesti 1980-luvun loppupuolelta lähtien suunnattu näihin kysymyksiin. Tässä esityksessä on tavoitteena luoda lähinnä käytännön metsätalouden tarpeisiin perustuvan jaottelun mukaisesti yleiskatsaus suometsien tuotostutkimuksen tuloksiin viimeisten 10 vuoden ajalta sekä arvioida lähivuosien tutkimustarpeita. Suometsien lannoitukseen liittyvät puuntuotos-tutkimukset on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.

## 2 Menetelmät ja keskeiset aineistot

Suomessa ja yleensäkin borealisella vyöhykkeellä tuotostutkimusten valtaosa on koskenut kangasmetsiä. Tällöin on yleensä voitu tehdä tiettyjä tutkimusmenetelmien valintaan ja soveltamiseen liittyviä oletuksia. Ensinnäkin on voitu olettaa, että puuntuotoskykyyn liittyvät kasvupaikan fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet eivät muutamien kymmenien vuosien tai jopa kiertoajan mittaisten tarkastelujaksojen aikana ainakaan pysyvästi muutu niin paljon, että muutos tulisi ottaa huomioon esimerkiksi kasvumalleja laadittaessa. Puuston suhteen on yleensä oletettu, että metsiköt kehittyvät jokseenkin tasaikäisinä, vaikkakin eri jaksoja saattaa kasvaa “päällekkäin”, jolloin ainakin vallitsevan puuston ikä kuvaa varsin hyvin metsikön kehitysvaihetta ja niin ollen luontaiseen kasvurytmiin liittyvää elinvoimaisuutta. Suometsissä nämä oletukset eivät yleensä ole voimassa.

Suometsillä tarkoitetaan tässä sellaisia metsiä, joiden kasvupaikoilla joko valitsee turvetta muodostava kasvillisuus tai joille on kerrostunut vaihteleva määrä kasvinjäänteistä syntynyttä turvetta. Tällaisilla kasvupaikoilla puuston edafiset eli maaperästä riippuvat kasvutekijät, lähinnä ravinnetalous ja vesitalous muuttuvat jatkuvasti. Tiettyjen kasvun kannalta olennaisten ravinteiden, kuten typen ja fosforin saanti riippuu ensi sijassa orgaanisen aineksen hajoamisnopeudesta. Suometsien tuotostutkimuksilla tulisi olla verraten hyvin hallinnassa olennaiset kasvupaikan muutosprosessit tai ainakin niiden vaikutukset puuston kehitykseen. Näitä ovat orgaanisen aineksen (turve, karike) hajoaminen ja kerrostuminen (=hiilen kierto), orgaaniseen ainekseen sitoutuneiden ravinteiden mineralisaatio, ravinteiden kierto metsikköekosysteemeissä, mahdolliset lisäykset ja poistumat ravinnetaseessa, pintaturpeen vesipitoisuuden tai pohjavesipinnan vaihtelu, juuristokerroksen lämpötilavaihtelut jne.

Tuotostutkimuksissa kasvupaikkatekijöiden vaikutus on pyritty hallitsemaan kasvupaikkojen luokittelun kautta. Suomessa on perinteisesti käytetty kasvillisuuteen perustuvia, empiirisesti puuntuotoskykyyn sidottuja sekamenetelmiä. Soilla yleisimmin käytetyissä järjestelmissä (Heikurainen 1986, Huikari 1952) lähtökohtana on luonnontilaisten soiden kasvivyhdyskuntiin perustuva luokitus. Ojituksen aiheuttamaa sukkessiota on kuvattu kuivatusasteilla ojikko, muuttuma ja turvekangas. Ojitusalueilla sukkessio ei kuitenkaan aina ole yksisuuntainen. Lisäksi on ilmeistä, että sukkession “suunnan” ja nopeuden vaihtelu on suurta ja riippuu monista muistakin tekijöistä kuin mitä luonnontilaisen suotyypin kasvillisuus indikoi.

Toinen mahdollisuus, jota kangasmailla on myös yleisesti käytetty, on suora bonitointi puuston avulla. Ennen ojitusta syntyneiden ja siitä syystä erirakenteisten puustojen pituusbonitointiin esim. perinteinen valtapituus/ikä -menetelmä sopii huonosti. Valtapuiden pituuskasvuun perustuvasta bonitoinnistakin on tehty vain alustavia kokeiluja, jotka eivät ole toistaiseksi johtaneet laajempiin selvityksiin.

Suometsissä kasvatettava puusto on yleensä pääosin ollut olemassa jo ennen ojitusta. Tästä seuraa, että ojituksen yhteydessä metsikön ja yksittäisten puiden kasvuolot muuttuvat radikaalisti kesken puiden elinkaaren. Metsikkörakenne on hyvin harvoin lähelläkään tasarakenteista, eikä se voi sellaiseksi muuttuakaan kovin nopeasti, mikäli kasvatettavana puustona on pääosin luonnontilaisen suon puusto. Puuston iän ja valtapituuden tai tilavuuskasvun välisen riippuvuuden sijasta aiemmissa suometsien tuotostutkimuksissa onkin yleensä päädytty kuvaamaan metsiköiden suhteellista kasvukykyä menneen jakson keskimääräisen kasvun ja puuston tilavuuden välisen riippuvuuden avulla. Näin laadituissa tuotostaulukoissa ja kasvumalleissa on useimmiten rajoitteena niiden voimakas sitoutuminen laadinta-aineistonsa mittaushetken keskimääräiseen tilanteeseen, koska monia yksittäisen metsikön kasvuun vaikuttavia muuttujia ei voida samanaikaisesti ottaa huomioon. Yhtenä keskeisenä osana viime aikaista suometsien tuotostutkimusta onkin ollut kehittyneiden tilastollisten menetelmien soveltaminen.

Keskeisiä, tähän katsaukseen otetuissa tutkimuksissa käytettyjä kestokoealaineistoja esitellään lyhyesti seuraavassa. Kasvupaikkojen bonitoinnissa on viime vuosina hyödynnetty professori O.J. Lukkalan johdolla 1930-luvulla tai aiemmin perustettujen pysyvien kasvukoealojen verkostoa, joka ulottuu lähes kaikkiin METLAn tutkimusalueisiin Solbolestä Kolariin. Koealametsiköiden puustoa ja ojustoa on hoidettu intensiivisesti pyrkien suureen tuotokseen ja välttämällä voimakkaita kertaharvennuksia. Mittauksia on tehty noin 10 vuoden aikaväleillä. Tätä aikasarjaa kutsutaan jatkossa METLAn vanhojen kestokoealojen aineistoksi. Valtakunnanmetsien inventointien (VMI) aineistoja on käytetty mm. ojitamattomien suometsien kehityksen kuvaamisessa (VMI 3), metsäojituksen vaikutusten seurannassa (VMI 3–VMI 7), sekä kasvumallien laadinnan aineistona (VMI 8:n pysyvät koealat). VMI 7:n alaotoksena pohjoisen Suomen alueelle perustettiin kasvumallien aineistotarpeita ja suoekosysteemien seurantaan varten suometsien pysyvien kasvukoealojen verkosto (SINKA) vuosina 1984–1989. SINKA-aineistoa (Penttilä ja Honkanen 1986) on käytetty laajasti METLAn viimeaikaisissa suometsien tuotostutkimuksissa. Eteläisen Suomen osalta sitä on täydennetty VMI 8:n pysyvien koealojen aineistolla. Ojitettujen suometsien kasvatushakkuiden perusteiden ja voimakkuuden tutkimista varten METLAn ja osin Metsähallituksen yhteistyönä perustettiin Keski- ja Pohjois-Suomeen vuosina 1985–1993 noin 30 kestokoetta käsittävä suometsien harvennuskokeiden sarja. Sitä on käytetty myös kasvumallien testiaineistona.

## 3 Tutkimuksen tuloksia ja tavoitteita

### 3.1 Kasvupaikkojen puuntuotoskyky

Suokasvupaikkojen bonitoinnin tärkeimpänä tavoitteena on ollut kuvata eri suotyyppeiden keskimääräinen pitkän aikavälin puuntuotoskyky ojittamattomana ja ojitetuna eri ilmasto-oloissa. Lähinnä Heikuraisen (1973) kehittämä järjestelmä siihen myöhemmin tehtyine tarkistuksineen on toiminut metsäojituksen kohdevalinnan ohjauksen työvälineenä. Kritiikin sijaa on lähinnä siinä, että puustoisten ojittamattomien soiden tuotostiedot olivat ojitusohyötyjä laskettaessa suppeat. Bonitointijärjestelmän taustalla olevissa kasvututkimuksissa ei myöskään tarkasteltu esimerkiksi puulajikoostumuksen vaihtelun vaikutusta ojitetujen suotyyppeiden puuston tuotokseen.

Ojittamattomien, mutta luonnontilassakin puustoisten korpi- ja rämetyyppien puuntuotoksen tasosta saatiin koko maan osalta riittävä yleiskuva VMI 3:n aineistoihin perustuvassa tutkimuksessa (Gustavsen ja Päivänen 1986). Siinä tuotettiin metsikkötason kasvumallit tärkeimmille aitojen korpi- ja rämetyyppien ojittamattomille puustoille. Ojittamattomilla soilla kasvun taso noudatteli suotyyppeiden trofia-sarjaa vain Etelä-Suomen rehevien korprien osalta. Karummilla soilla ja Pohjois-Suomessa yleisesti kasvualustan vesiolojen arvioitiin selittävän luonnontilaisen suon puuston kasvua paremmin kuin ravinteisuuden.

SINKA-aineiston alustavan tarkastelun perusteella ojittamattomien koelajien kasvut sopivat Penttilän (1989, 1990) mukaan Pohjois-Suomessa hyvin yhteen Gustavsenin ja Päiväsen (1986) esittämien mallien kanssa. Ojitus lisäsi rämeiden ja lehtipuuvältaisten korprien suhteellista kasvua 1–2 boniteettiluokan verran. Sen sijaan kuusivältaisten korprien keskikasvuun ojitus ei näyttänyt juurikaan vaikuttaneen.

Hökkä (1993a) kuvasi METLAN vanhojen kestokoealojen perusteella ojitetujen suokasvupaikkojen puuntuotoskyvyn pysyvyyttä pitkällä aikavälillä. Hän käytti puuntuotoskyvyn mittarina suhteellisen kasvun indeksii, joka oli määritelty puuston mittaushetken tilavuuden, jakson kasvun ja poistumatietojen avulla. Aineistoon sovitettuna kovarianssirakennemallin tunnusten perusteella edeltävää jaksoa kuvaavan indeksin avulla voitiin varsin luotettavasti ennustaa seuraavan, noin 10 vuoden jakson ja jopa useiden tulevien jaksojen indeksien arvot. Indeksien keskimääräisen kehityksen mukaan tutkimusaineiston kasvupaikkojen puuntuotoskyky kohosi ojituksen jälkeen nopeasti eikä ainakaan heikentynyt ojitusta seuraavien 40 vuoden aikana.

METLAN vanhojen kestokoealojen aineistosta on tuotettu myös Etelä-Suomen suometsiköiden ojituksen jälkeistä kokonaistuotosta kuvaavat mallit, mutta niistä on julkaistu toistaiseksi vain ennakkotuloksia (Paavilainen ja Päivänen 1995).

Ojitetujen suokasvupaikkojen tuotoskykyä koskevat tutkimukset kytkeytyvät kiinteästi kestäväen suometsätalouden harjoittamisen edellytyksiin. Olennainen merkitys on eri kasvupaikkojen ravinnetalouden sekä metsiköiden ravinnekierron paremmalla tuntemisella. Perustutkimusta on tehty runsaasti SUOSILMU-projektin yhteydessä, josta lähiaikoina ilmestyy loppuraportti Suomen Akatemian julkaisu-

sarjassa. Jatkossa tämä aihepiiri edellyttää lisäpanostusta.

### 3.2 Metsänkasvatuskelpoisuuden kriteerit

Suotyyppien metsänkasvatuskelpoisuuden kriteerejä on käytännön eri organisatioiden ohjeisiin ja suosituksiin viimeksi tarkistettu 1980-luvun lopulla Keltikankaan ym. (1986) inventointitulosten perusteella. Samassa yhteydessä mm. Metsähallitus ja Kml Tapio määrittelivät myös jo ojitettujen soiden kunnossapitokelpoisuuden kriteerit. Niissä otetaan suotyypeittäisen rajalämpösumman lisäksi huomioon uudisojituksen jälkeen tuotetun puuston määrä rajalämpösummaa korjaavana tekijänä. Tiettyjä suokasvillisuuden monimuotoisuuden säilyttämisen kannalta arvokkaita suotyypejä rajattiin uudisojituksen ulkopuolelle luonnonsuojelullisista syistä.

Ojitusalueiden kunnossapitokelpoisuuden kriteerien käyttöönotto Metsähallituksen pohjoisten alueiden inventointien yhteydessä tuntuu aiheuttaneen varsin laajalti tilanteita, joissa ohjeiden noudattamisen epäillään johtavan taloudellisiin virheisiin. Ristiriitatilanteet koskevat lähinnä ravinteisuustasoltaan piensaraisia rämeitä, joille 20–30 vuoden kuluttua ojituksesta on kasvanut usein kuitupuun mittoihin yltävä puusto huolimatta siitä, että kuivatusteho on useimmiten käytetystä auroitusmenetelmästä johtuen ollut alun pitäenkin heikko. Päätöksenteon tukea tällaisiin ongelmatilanteisiin olisi saatavissa mm. metsikkökohtaisten, uusiin kasvumalleihin (ks. luku 3.4) perustuvien tuotosennusteiden kautta. Niitä voitaisiin soveltaa joko suoraan metsäsuunnittelun tuottamiin kuviotietoihin tai tarvittaessa tarkentaa varsin vähätöisten kuvioittaisten puustomittausten avulla. Malleilla tuotettujen kasvuennusteiden pohjalta olisi edelleen mahdollisuus metsiköiden jatkokasvatuksen taloudellisuustarkasteluihin.

### 3.3 Metsäojituksen vaikutusten seuranta suuralueilla

Paavilaisen ja Tiihosen (1988) mukaan VMI 7:n aineistosta laskettu suometsien kokonaiskasvu oli noin 15 milj.  $m^3a^{-1}$ . He arvioivat, että 1980-luvun lopulla metsäojituksen ja ojitusalueiden lannoituksen yhteensä aikaan saama vuotuinen kasvunlisäys oli jo ylittänyt 7 milj.  $m^3a^{-1}$ . Pohjois-Suomessa metsäojituksen puuntuotosvaikutukset osoittautuivat heikommiksi kuin mitä aiemmin Etelä-Suomen tulosten perusteella oli ennakoitu. VMI:n otanta ja kasvupaikkaluokitus eivät anna mahdollisuuksia ojitusvaikutusten arviointiin kovin pienille alueille tai ojituskelpoisuuden määrittelyissä käytetyille suotyypeille. Metsäojitettujen soiden puustojen tilavuuskasvua ja muita tunnuksia voitiin kuitenkin tarkastella alueittain, suotyypeittäin, ojitusikäluokittain ja kehitysluokittain valtakunnallisen, vuosina 1930–1978 ojitetuja alueita koskevan inventoinnin perusteella (Keltikangas ym. 1986). Puuston tilavuuden ja kasvun kehitys ojituksen jälkeen noudatti aiemmissä tutkimuksissa (esim. Heikurainen ja Seppälä 1973) todettuja suuntaviivoja, mutta oli tasoltaan hieman näitä alempana etenkin Pohjois-Suomen karuilla soilla.

VMI 7:n osa-alueittaisten suotulosten (Paavilainen ja Tiihonen 1984, 1985;

Mattila ja Penttilä 1987) lisäksi on laadittu myös muita maan osa-alueita koskevia selvityksiä metsäojituksen puuntuotosvaikutuksista. Oulun läänin metsät 1990–2020 -projektin yhteydessä laadittiin erikseen suometsien kasvuennusteita Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan sekä Kainuun metsälautakuntien alueelle sekä koko Pohjois-Suomen (4 pohjoisinta metsälautakuntaa) alueelle (Penttilä ja Salminen 1991). Suometsien nykyinen osuus vuotuisesta kasvusta Pohjois-Suomessa on VMI 7:n pohjalta arvioiden 37 %. Ennusteiden mukaan nykyisin puuntuotannon piirissä olevilla alueilla suometsien vuotuinen kasvu saavuttaisi vuoteen 2010 mennessä noin  $6 \text{ milj. m}^3 \text{ a}^{-1}$  tason, mikä vastaisi 30 %:a alueen kaikkien puuntuotantometsien kasvusta. Osuuden pieneneminen johtuu kangasmaametsien kasvun samanaikaisesta lisääntymisestä.

METLAn 1970-luvulla käynnistämässä seurantatutkimuksessa selvitettiin yksityismaiden ojitusaluiden tilaa ja puustojen kehitystä Keski-Suomen, Etelä-Pohjanmaan ja Kainuun metsälautakuntien alueella 10 vuoden aikana (Hökkä ym. 1995). Subjektiiiviseen valintaan perustuneessa aineistossa puustojen keskitilavuus oli lisääntynyt tarkastelujakson aikana keskimäärin yli 60 % ja oli loppumittauksessa runsaat  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  vaihdellen alueittain ja suotyypeittäin. Kasvupaikkojen tuotoserot olivat tutkimuksessa laadittujen metsiköittäisten kasvumallien mukaan yllättävän vähäisiä. Hämmästyttäviä aiheuttivat erityisesti aineiston eteläisen osan karujen rämeiden hyväkasvuiset metsiköt.

Suometsien valtakunnallisesta tilasta ja puustojen kasvusta on tarkoitus tuottaa ajan tasalla olevaa tietoa VMI 8:n aineistoista lähimmän parin vuoden aikana. Metsäojituksen vaikutusten seurannalla on suuri merkitys mm. tehtyjen investointien tuoton selvittämisessä ja kunnossapidon tarpeen ja kohdevalinnan arvioinnissa, metsätalouden valtakunnallisessa ja alueellisessa ohjauksessa sekä erilaisten suuralueille kohdistuvien ainetaselaskelmien lähtöaineistojen tuottamisessa. Kertyvien aikasarjojen avulla voidaan myös testata puuston kasvun ennustemalleja.

### 3.4 Kasvun ennustaminen metsäsuunnittelun tarpeisiin

Metsäsuunnittelussa käytettävien kasvumallien soveltamista varten on yleensä tarpeellista johtaa maastoinventointien kuvioittaisista tiedoista tietyille puujoukoille niiden läpimitta- ja pituusjakaumat. Nykyisille ojitusaluemetsille leimaa antavaa on erirakenteisuus sekä iän että koon suhteen. Uusien puiden syntyminen ylläpitää erirakenteisuutta vielä pitkään ojituksen jälkeen (Hökkä ja Laine 1988). Varsinkin avosoiden ja puustoisten suotyyppeiden sekatyypeillä myös kasvupaikan vaihtelu suhteessa pohjavesipinnan korkeuteen ja ravinteisuuteen nähdessä vaikuttaa puustojen erirakenteisuuden säilymiseen.

Metsäsuunnittelusovelluksia varten Hökkä ym. (1991) laativat läpimittajakaukamallit Pohjois-Suomen mänty- ja koivuvaltaisille ojitusaluemetsille. Puutason pohjapinta-alan kasvumallit männylle, koivulle ja kuuselle koko maan ojitusalueita varten on laadittu vuoden 1995 aikana MELA-ohjelmiston malliperheen päivitysprojektin yhteydessä. Kattavat ja edustavat aineistot (SINKA ja VMI 8:n pysyvät koealat) sekä lineaaristen sekamallien tekniikka mahdollistavat mallien kalibroinnin

jopa yksittäisille metsikkökuvioille niiltä mitattujen tai ennustettujen puustotunnusten avulla. Malleja koskevat julkaisut ovat käsikirjoitusvaiheessa (Höckä ja Alenius 1996). Metsäsuunnittelusovelluksia varten on jatkossa tarpeen vielä kehittää puutason ennustemallit kunnostusojituksen kasvuvaikutusten kuvaamiseksi.

### 3.5 Metsänhoitotoimenpiteiden vaikutukset kasvuun

Metsikön kasvatusvaiheen metsänhoitotoimenpiteillä kuten kasvatushakkuilla pyritään ohjaamaan käytettävissä olevaa puutuotantopotentiaalia rajoitettuun puujoukkoon mahdollisimman hyvän taloudellisen tuloksen saavuttamiseksi. Sekä tämän tavoitteen kannalta että harvennushakkuiden kasvuvaikutusten ennustamiseksi on siten hyödyllistä tietää missä määrin ja mistä resursseista puut kilpailevat erilaisilla kasvupaikoilla ja metsiköiden eri kehitysvaiheissa.

Eräällä isovarpurämeellä epätasaisen tilajärjestyksen arvioitiin spatiaalisen kasvumallin avulla tehdyn simuloinnin perusteella johtavan 9–20 % kasvutappioon verrattuna tasarakenteiseen metsikköön (Miina 1994). Samaa kasvumallia hyväksi käyttäen Miina ja Pukkala (1995) vertailivat myös eri harvennusmenetelmien soveltuvuutta ojitetun turvemaan männikköön.

Kasvatushakkuiden perusteiden selvittämiseksi METLAn suometsien harvennuskokeista on valittu muutamia kohteita, joilla normaalien puustotunnusten lisäksi on seurattu intensiivisesti harvennuksen vaikutusta pohjavesipinnan syvyyteen, kasvupaikan lämpöoloihin, puiden neulaston ravinnetunnuksiin sekä kasvillisuuden biomassan jakautumiseen sekä puuston ja muun kasvillisuuden että puuston eri ositteiden kesken. Toistaiseksi julkaistujen osatulosten mukaan ja vastoin aiemmin saatuja tuloksia Pohjois-Suomen rämeillä harvennus ei olennaisesti vaikuttanut pohjavesipinnan syvyyteen varsinkaan märkinä vuosina (Höckä ja Penttilä 1995a). Syyksi arvioitiin sitä, että ojitettujenkin soiden maavesivarastot pysyvät pohjoisen humidissa ilmastossa lähes täysinä koko kesän, jolloin puuston määrä ei juurikaan vaikuta pohjavesipinnan tasoon. Kasvupaikan lämpöolot ovat pitkälti sidoksissa pohjavesipinnan tasoon; pintaturpeen korkea vesipitoisuus nopeuttaa lämpenemistä keväällä ja hidastaa jäähtymistä syksyllä. Juurten kasvun kannalta tärkeän loppukesän aikana kasvualustan lämpötilan vaihtelut riippunevat lähinnä maanpintaan tulevan säteilyn määrästä (Höckä ym. 1996).

Puiden välisellä kilpailulla SINKA-aineiston ojitetuissa mäntyvaltaisissa metsiköissä oli Pennerin ym. (1995) mukaan sekä positiivista että negatiivista vaikutusta puiden kasvuun. Kilpailun (metsikön pohjapinta-alan) lisääntyminen vähensi yksittäisten puiden kasvua, mutta toisaalta lähekkäin kasvavilla puilla pohjapinta-alan kasvu oli merkittävästi suurempi kuin tasaisesti hajallaan olevilla puilla, mikä saattaa johtua puiden haihdunnan pohjavesipintaa alentavasta vaikutuksesta. Kilpailun negatiivisten vaikutusten kohdistuminen samassa suhteessa metsikön kaiken kokoisiin puihin viittasi siihen, että puut kilpailivat lähinnä ravinneresursseista.

Harvennuksen vaikutus jäävän puuston neulasten ravinnetunnuksiin näyttäisi myös korostavan ravinnerkilpailun osuutta ojitetuissa rämemetsiköissä. Höckän (1993) ja Höckän ym. (1995) mukaan uusien neulasten ravinnepitoisuus ja määrä

100 neulasta kohti lisääntyi kaikissa latvuserroksissa harvennuksen jälkeen.

Harvennuskokeiden puustoreaktioiden alustavat tulokset osoittavat, että ravinteiden saatavuuden suhteen karuhkoilla rämeillä harvennusreaktio oli ensimmäisen harvennusta seuraavan 5-vuotisjakson kuluessa vähäinen, mutta viljavammalla kasvupaikalla todettiin selvä reaktio (Hökkä 1993b). Myös mustikkaturvekankaan sekakoivikossa todettiin voimakas harvennusreaktio pian harvennuksen jälkeen (Hökkä ja Penttilä 1995b), ja samanlaisia viitteitä on rehevien korpien nuorista kuusi-koivumetsästä.

Suometsien harvennuksen vaikutuksista puustojen kasvuun eri kasvupaikoilla ja maan eri osissa sekä vaikutuksista biomassan jakautumiseen saadaan lisätietoja METLAn Suometsien kasvu ja tuotos -hankkeen tuloksina muutaman lähivuoden aikana. Samalla tullaan kiinnittämään erityistä huomiota harvennuksen ravinnetaloudellisiin vaikutuksiin. Tulosten perusteella on mahdollista laatia suositukset ojitusaluemetsien harvennuksia varten.

### **3.6 Suometsien kasvatusmallit**

Kasvumallien ja metsänhoidollisten toimenpiteiden vaikutusta kuvaavien mallien avulla suometsille on mahdollista simuloida vaihtoehtoisia kasvatusohjelmia. Vaihtoehtoista voidaan valita erilaisiin puuntuotannon olosuhteisiin ja muista syistä vaihteleviin tarpeisiin sopivia yhdistelmiä optimointiohjelmien avulla. Toistaiseksi suometsille on käytettävissä Niemistön (1991) laatimat turvemaiden hieskoivikoiden kasvatusmallit Pohjois-Suomea varten. Niiden mukaan hieskoivua kannattaa kasvattaa nuorena melko tiheässä asennossa (2 000–4 000 kpl/ha), minkä jälkeen yhdellä tai kahdella harvennuksella runkoluku pudotetaan 16 metrin valtapituusvaiheeseen mennessä noin 900 runkoon hehtaaria kohti.

Jo valmistuneet turvemaiden puittaiset kasvumallit sekä lähivuosina saatavat tulokset harvennuksen vaikutuksesta puiden kasvuun mahdollistavat kasvatusmallien laatimisen kaikille metsänkasvatuskelpoisten suotyypin mänty-, kuusi- ja hieskoivuvaltaisille ojitetuille suometsille koko maata varten, mikäli tutkimuksen resurssit sen sallivat.

## **4 Tarkastelu**

Suometsien kasvu- ja tuotostutkimuksen keskeisiä teemoja lähivuosina tulevat edelleen olemaan kasvupaikkojen puuntuotoskyvyn kuvaaminen pitkällä aikavälillä, puiden kasvun ennustaminen metsäsuunnittelun tarpeisiin sekä erilaisten metsänhoitotoimenpiteiden, lähinnä harvennusten puuntuotantovaikutusten selvittäminen. Suometsien kasvattamisen taloudellisuuteen ja toimenpiteiden kannattavuuteen liittyvien optimointilaskelmien avulla pyritään luomaan yleisesti käyttökelpoiset suometsien kasvatusmallit.

Ojitettujen soiden kestävä metsätalouden perusteiden tuntemusta on syytä täydentää nimenomaan ojitettujen suometsien ravinnekiertoon liittyvillä tutkimuk-

silla. Avainalueita ovat ekosysteemin biomassatuotoksen kehitys, biomassan allokaatio, ravinteiden jakautuminen ja kierto sekä erilaisten hakkuiden vaikutukset edellisiin.

Menetelmällisesti kiertoajan mittaiset tai sitä pitemmät kasvuennusteet jouduttaneen edelleen sitomaan kasvillisuuden avulla kuvattuun kasvupaikkaan, mikä edelleen lienee paras tapa ravinteisuuden arviointiin ilman suoria mittauksia. Keskipitkän aikavälin (5–20 v.) kasvuennusteissa esimerkiksi metsäsuunnittelun tarpeita varten olisi sen sijaan syytä pyrkiä menetelmiin, joissa puuston kasvuoloja voidaan kuvata puuston itsensä, sen dimensioiden ja mitattujen tai ennustettujen kasvutunnusten avulla. Nykyaikaisten tilastollisten menetelmien sekä METLAN laajojen ja edustavien aineistojen avulla tähän on hyvät mahdollisuudet.

Aihepiiriin liittyvän tutkimuksen tulosten viimeistely ja synteisien laatiminen käytännön metsätalouden kannalta hyödynnettävään muotoon ovat osaltaan METLAN Suometsien kasvu ja tuotos -hankkeen keskeisin tehtävä lähivuosien aikana. Näkemykseni mukaan se on vaikuttavuudeltaan myös yksi olennaisen tärkeistä tehtävistä tavoiteltaessa Suomen suometsiin tehtyjen mittavien investointien hyödyntämistä ja edelleen pyrittäessä ekologisesti kestävän metsätalouden harjoittamiseen myös pohjoisen Suo-Suomen alueella.

## Kirjallisuus

- Gustavsen, H.G. & Päivänen, J. 1986. Luonnontilaisten soiden puustot kasvullisella metsämaalla 1950-luvun alussa. Tree stands on virgin forested mires in the early 1950's in Finland. *Folia Forestalia* 673. 27 s.
- Heikurainen, L. 1959. Tutkimus metsäojitusalueiden tilasta ja puustosta. Referat: Über waldbaulich entwässerte Flächen und ihre Waldbestände in Finnland. *Acta Forestalia Fennica* 69(1): 1–244.
- 1973. Soiden metsänkasvatuskelpoisuuden laskentamenetelmä. Summary: A method for calculation of the suitability of peatlands for forest drainage. *Acta Forestalia Fennica* 131. 35 s.
- 1986. Suo-opas. Kirjayhtymä. Helsinki. 51 s.
- & Seppälä, K. 1973. Ojitusalueiden puuston kasvun jatkumisesta ja alueellisuudesta. Regionality and continuity of stand growth in old forest drainage areas. *Acta Forestalia Fennica* 132. 36 s.
- Huikari O. 1952. Suotyypin määrittäminen maa- ja metsätaloudellista käyttöarvoa silmällä pitäen. On the determination of mire types, specially considering their drainage value for agriculture and forestry. *Silva Fennica* 75: 1–22.
- , Aitolahki, M., Metsänheimo, U. & Veijalainen, P. 1967. Puuston kasvumahdollisuuksista ojitetuilla soilla Pohjois-Suomessa. On the potential tree growth on drained peatlands in Northern Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 64(5) 51 s.
- Hökkä, H. 1993a. Ojitettujen soiden puuntuotoskyvyn pysyvyyden kuvaaminen kovarianssirakennemallilla. Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos. Tutkielma MML-tutkimusta varten suometsätieteessä. Moniste. 55 s.
- 1993b. Water and nutrient regimes and thinning response in Scots pine stands on drained peatland. Julkaisussa: Burkhardt, H., Gregoire, G. & Smith, J. (toim.). Modelling stand response to silvicultural practices. Proceedings of the IUFRO S4.01 Conference, September 27–October 1, 1993. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia. s. 49–60.
- & Alenius, V. 1996. Individual tree basal area growth models for Scots pine, Norway spruce, and Pubescent birch on drained peatlands. Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema. (käsikirjoitus).
- & Laine, J. 1988. Suopuustojen rakenteen kehitys ojituksen jälkeen. Post-drainage development

- of structural characteristics in peatland forest stands. *Silva Fennica* 22(1): 45–65.
- & Penttilä, T. 1995a. Harvennushakkuun vaikutus pohjavesipinnan syvyyteen ojitusalueilla Pohjois-Suomessa. Effect of thinning on groundwater table depth in drained peatlands in northern Finland. *Suo* 46: 9–19.
- & Penttilä, T. 1995b. Sekakoivikon reaktio ensiharvennukseen mustikkaturvekankaalla Lapissa. Thinning response of a young, birch-dominated mixed stand on *Vaccinium myrtillus* peatland forest type in Lapland. *Suo* 46: 31–37.
- , Penttilä, T. & Siipola, M. 1995. Metsäojitusalueiden tila ja puuston kehitys yksityismailla kolmen metsälautakunnan alueella. *Folia Forestalia* 1995(1): 21–33.
- , Penttilä, T. and Hännel, B. 1995. Effect of thinning on the foliar nutrients of Scots pine on drained boreal peatlands. *Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema. (käsikirjoitus)*.
- Penttilä, T. and Siipola, M. 1996. Relationships between groundwater table and temperature in peat. *Julkaisussa: Gale, M.R., Grigal, D.R., Jørglum, J.K., Jørgensen, M.G. & Trettin, C.C. Ecology and Management of Northern Forested Wetlands. Lewis Publishers. (painossa)*.
- , Piironen, M-L. & Penttilä, T. 1991. Läpimittajakauman ennustaminen Weibull-jakaumalla Pohjois-Suomen mänty- ja koivuvaltaisissa ojitusaluemetsiköissä. The estimation of basal area-dbh distribution using the Weibull-function for drained pine and birch dominated and mixed peatland stands in north Finland. *Folia Forestalia* 781. 22 s.
- Keltikangas, M. & Seppälä, K. 1966. Laskelmia metsäojituksen alueittaisesta edullisuudesta. A comparison of the economic results of forest drainage undertakings in different parts of Finland. *Suo* 17: 9–21.
- & Seppälä, K. 1973. Metsäojituksen, metsänlannoituksen ja metsityksen edullisuuden alueittainen vaihtelu. Regional variation in the profitability on forest drainage, forest fertilization, and afforestation. *Helsingin yliopiston metsätalouden liiketieteen laitos. Julkaisuja* 11. 67 s.
- , Laine, J., Puttonen, P. & Seppälä, K. 1986. Vuosina 1930–1978 ojitetut suot: ojitusalueiden inventoinnin tuloksia. Summary: Peatlands drained for forestry during 1930–1978: results from field surveys of drained areas. *Acta Forestalia Fennica* 193. 94 s.
- Lukkala, O.J. 1929. Tutkimuksia soiden metsätaloudellisesta ojituskelpoisuudesta erityisesti kuivatuksen tehokkuutta silmälläpitäen. Referat: Untersuchungen über die waldwirtschaftliche Entwässerungsfähigkeit der Moore. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 15.1: 1–278.
- 1937. Näikävuosien suonkuivatusten tuloksia. Referat: Ergebnisse der in den Hungerjahren angelegten Moorentwässerungen. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 39.6: 140–160.
- Mattila, E. & Penttilä, T. 1987. Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien suometsät vuosina 1952–1984. Peatland forests of Lappi and Koillis-Suomi forestry board districts, North Finland, 1952–1984. *Folia Forestalia* 703. 49 s.
- Miina, J. 1994. Spatial growth model for Scots pine on drained peatland. *Silva Fennica* 28(1): 15–27.
- & Pukkala, T. 1995. Comparison of thinning methods in a Scots pine stand on drained peatland. A simulation study. Harvennusmenetelmien vertailu ojitetun turvemaan männikössä. *Simulointitutkimus. Suo* 46: 1–7.
- Multamäki, S.E. 1923. Tutkimuksia ojitettujen soiden metsänkasvusta. Referat: Untersuchungen über das Waldwachstum entwässerten Torfböden. *Acta Forestalia Fennica* 27.1: 1–121.
- Niemistö, P. 1991. Hieskoivikoiden kasvustiheys ja harvennusmallit Pohjois-Suomen turvemailla. Summary: Growing density and thinning models for *Betula pubescens* stands on peatlands in northern Finland. *Folia Forestalia* 782. 36 s.
- Paavilainen, E. & Päivänen, J. 1995. Peatland forestry: ecology and principles. *Ecological studies* 111. Springer Verlag, Berlin - Heidelberg - New York. 248 p.
- & Tiihonen, P. 1984. Etelä- ja Keski-Suomen metsälautakuntien suometsät vuosina 1951–1981. Peatland forests in southern and central Finland in 1951–1981. *Folia Forestalia* 580. 20 s.
- & Tiihonen, P. 1985. Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan sekä Kainuun suometsät vuosina 1951–1983. Peatland forests in Keski-Pohjanmaa, Kainuu, and Pohjois-Pohjanmaa in 1951–1981. *Folia Forestalia* 617. 19 s.
- & Tiihonen, P. 1988. Suomen suometsät vuosina 1951–1984. Peatland forests in Finland in

1951–1984. Folia Forestalia 714. 29 s.

- Penner, M., Penttilä, T. & Hökkä, H. 1995. A method for using random parameters in analyzing permanent sample plots. *Silva Fennica* 29(4). (painossa).
- Penttilä, T. 1989. Growth response of peatland stands to drainage in Northern Finland. Julkaisussa: Jeglum, J.K. & Overend, R.P. (toim.). *Peat and Peatlands. Diversification and Innovation. Volume I - Peatland Forestry. Proceedings of Symposium '89 in Quebec City, Canada*: s. 70–77.
- 1990. Metsäojituksen vaikutus puustoon ja sen kasvuun Pohjois-Suomen turvemailla. Julkaisussa: Varmola, M. & Katermaa, T. (toim.). *Metsänparannus. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1990. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 362*: 21–31.
- & Honkanen, M. 1986. Suometsien pysyvien kasvukoealojen (SINKA) maastotyöohjeet. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 226*. 98 s.
- & Salminen, H. 1991. Suometsien kasvu Pohjois-Suomessa. Julkaisussa: Valtanen, J., Murtovaara, I. & Moilanen, M. (toim.). *Metsäntutkimuspäivät Haapajärvellä 1990. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 387*: 31–40.
- Päivänen, J. 1990. Suometsät ja niiden hoito. Kirjayhtymä. Helsinki. 231s.
- Seppälä, K. 1969. Kuusen ja männyn kehitys ojitetuilla turvemailla. Post-drainage growth rate of Norway spruce and Scots pine on Peat. *Acta Forestalia Fennica* 93. 88 s.

# Männyn ja hieskoivun tuotosvertailua Pohjois-Suomen ojitetuilla turvemilla

---

Hannu Hökkä  
Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema  
PL 16, 96301 Rovaniemi

## 1 Johdanto

Pohjoisen Suomen ojitusalueilla mänty ja hieskoivu ovat selvästi yleisempiä kuin kuusi. Keltikankaan ym. (1986) mukaan Pohjois-Suomen ojitusaluemetsiköissä männyn osuus puuston tilavuudesta oli 53 %, koivun 30 % ja kuusen 17 %. Mäntyä esiintyy kaikenlaisilla ojitettujen soiden kasvupaikoilla, kun taas koivu on keskittynyt ravinteisuussarjan parempaan laitaan. Mustikka-suursaraton rämeiden ja ruohoisten rämeiden ojitusalueiden metsiköissä mänty ja hies muodostavat usein sekapuustoja; esimerkiksi valtakunnallisen ojitusalueinventoinnin mukaan ruohoisilla sararämeillä koivun osuus tilavuudesta oli 48 % ja varsinaisella sararämeellä 29 % (Keltikangas ym. 1986). Viljavuudeltaan vastaavien nevojen ojitusalueilla koivun osuus oli vielä suurempi. Pohjoiseen siirryttäessä rämeet muuttuvat kuitenkin mäntyvaltaisemmiksi (Heikurainen 1959).

Kasvupaikoilla, joilla esiintyy luontaisesti sekä mäntyä että hiestä, on useita vaihtoehtoisia malleja valittavana metsikön kasvatukseen. Päätöksentekotilanteissa tarvitaan arviota odotettavissa olevasta tuotoksen tasosta suhteessa mahdolliseen vaihtoehtoon. Männyn ja hieskoivun kasvatukseen liittyvä aiemmin yleinen ongelma oli, kannattaako jo olemassa olevaa hieskoivikkoa kasvattaa vai olisiko se uudistettava (Keltikangas ja Seppälä 1977, Saramäki 1977). Takavuosina hieskoivua pidettiin yleisesti kasvatuskelvottomana puulajina, joka aiheutti metsikön luokittamisen vajaatuottoiseksi. Nykyisin hieskoivua pidetään ojitusalueilla kasvatuskelpoisena, ja puunjalostusteollisuudessa koivukuitupuun kysyntä on vakaata. Toinen, ehkä ajankohtaisempi päätöksentekotilanne on puulajivalinta ojitusalueiden kasvatushakuissa, ts. onko syytä suosia jompaa kumpaa puulajia ja missä oloissa.

Aikaisemmissa selvityksissä Keltikangas ja Seppälä (1977) totesivat koivun tuotokseltaan kilpailukykyiseksi suhteessa mäntyyn suursaraton ja sitä paremmilla kasvupaikoilla. Metsikkötason suhteellinen kasvu (juokseva kasvu suhteessa puuston sen hetken tilavuuteen) oli vähintään samaa tasoa kuin männiköissä,

nuorilla ojitusalueilla vielä selvästi korkeampi. Saramäen (1977) mukaan hieskoivikon kasvattaminen oli uudistamista edullisempaa, kun koivikon ikä oli ruohoisella kasvupaikalla 10 vuotta tai suursaraisella 15 vuotta. Toisaalta Saramäen (1977) tuotosvertailu osoitti selkeästi männyn paremmuutta. Kiertoajan mittaisten edullisuusvertailujen painottuminen männyn hyväksi selittyy suurelta osin sillä, että hieskoivikoista saadaan lähinnä kuitupuuta (Verkasalo 1988).

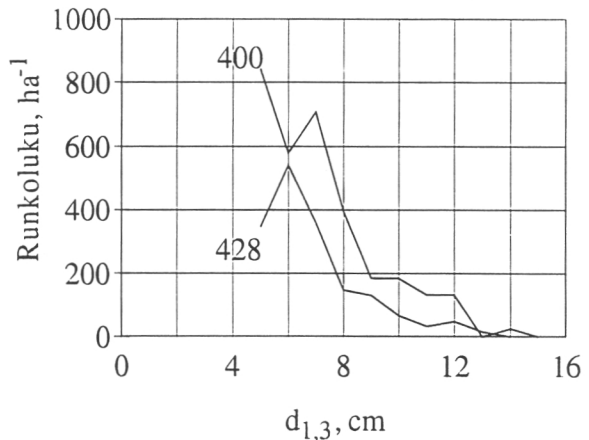
Tässä tutkimuksessa vertaillaan männyn ja koivun ojituksen jälkeistä tuotosta samanlaisilla kasvupaikoilla käyttäen apuna puiden pohjapinta-alan kasvulle laadittuja malleja. Tulosten pohjalta voidaan arvioida käytäntöön annettuja turvemaiden männiköiden ja koivikoiden kasvatussuosituksia. Tarkasteltava muuttuja on pohjapinta-alan kehitys metsikkötasolla ja tarkastelu aika 25 vuotta ojituksen jälkeen.

## 2 Aineisto ja menetelmät

Lähtötilanteen määrittämiseksi valittiin SINKA-tietokannasta (Penttilä ja Honkanen 1986) luonnontilaisten suokuvioiden joukosta kaksi esimerkkimetsikköä, joista toinen oli männikkö ja toinen koivikko. Toinen oli kasvupaikaltaan ruohoista ja toinen suursaratasoa ja molemmat kehitysluokiltaan nuoria kasvatusmetsiä. Lämpösummaksi määritettiin laskennassa 1 000 d.d. °C, joka vastaa keskimäärin esimerkiksi Lapin kolmion oloja. Kummastakin metsiköstä oli mitattu runkoluvun hehtaarikohtainen läpimittajakauma käyttäen minimiläpimittana 4,5 cm. Jakauma oli luonnontilaisille soille ja ojitusalueille tyypillisesti voimakkaasti vino oikealle (kuva 1) (vrt. Heikurainen 1971, Hökkä ja Laine 1988). Puustotunnusten osalta koealat poikkesivat selvimmin toisistaan runkoluvun ja pohjapinta-alan suhteen (taulukko 1). Ensimmäistä metsikköä voidaan pitää ylitieheänä ja toista ohjetiheiden mukaisena.

Tarkastelun perustana olevat kasvumallit on laadittu erikseen männylle ja koivulle edustavasta otosaineistosta, joka kattaa ojitetut suot maan eri osissa. Malleis-

Kuva 1. Koemetsiköiden mitattu runkoluvun läpimittajakauma simulointijakson alussa.



sa yksittäisen puun pohjapinta-alan tulevan viiden vuoden kasvua selitetään puu- ja metsikkökohtaisilla muuttujilla. Näistä tärkeimpiä ovat mm. puun läpimitta kasvujakson alussa, puun asema metsikössä, metsikön puustoisuus, maantieteellinen sijainti, kasvupaikka ja aika ojituksesta. Malleja käytetään kasvattamalla kohde-metsiköstä mitatun läpimittajakauman puita läpimittaluokittain viiden vuoden jaksoissa. Läpimittaluokittaisen runkoluvun avulla voidaan laskea metsikön hehtaarikohtainen pohjapinta-ala jakson lopussa. Pohjapinta-alaa sekä uusia läpimittoja käytetään uuden simulointijakson syöttötietona. Tässä tarkastellaan siis metsikkötason pohjapinta-alan kehitystä ojitusta seuraavana viitenä viisivuotiskautena.

Tarkastelu on seuraavilta kohdin yksinkertaistettu:

- Se perustuu vain kasvumalliin, jolloin puiden satunnaista tai kilpailusta aiheutuvaa kuolemista ei oteta huomioon. Malli kyllä ehdottaa negatiivista kasvua pienemmille puille, kun niiden kilpailuasema muuttuu hyvin alistetuksi, mutta todennäköisesti niiden olisi kuoltava jo aiemmin. Tässä tarkasteltu metsikön pohjapinta-ala muodostuu aina liian suureksi simuloinnin lopussa.
- Se perustuu lähtöhetkellä mitattuun runkoluvun läpimittajakaumaan, jonka puita kasvatetaan koko ajan. Uusien, minimiläpimittarajan ylittäneiden puiden kasvua ja niiden aiheuttamaa läpimittajakauman muutosta ei oteta huomioon.
- Harvennuksia ja ojituksen kunnostuksia ei oleteta tehtävän, vaan ojitustehon oletetaan pysyvän riittävänä koko ajan.

Näistä syistä johtuen ennuste on sitä epävarmempi, mitä pitempi on ennustejakso, joten se rajoitettiin tässä yhteydessä 25 vuoteen. Sekä ojituksen kunnostus että harvennushakkuu ovat tällöin jo useimmiten ajankohtaisia. Jos oletetaan, että mallit kuvaavat spesifisti kummankin puulajin pohjapinta-alan kasvun kehityksen puun läpimitan kasvaessa ja että edellä mainitut puutteet vaikuttavat samalla tavalla molemmissa malleissa, voidaan simulointien pohjalta tehdä tarkasteluja puulajien tuotoseroista ojituksen jälkeen.

Taulukko 1. Koealojen puustotunnukset simulointijakson alussa (luonnontilassa).

Metsikkö	Tunnus				
	Puu-laji	Ppa (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	DgM (cm)	H (m)	Runkoluku (ha <sup>-1</sup> )
400	mänty	13,4	8,2	6	3184
428	koivu	6,7	7,9	6	1691

### 3 Tulokset

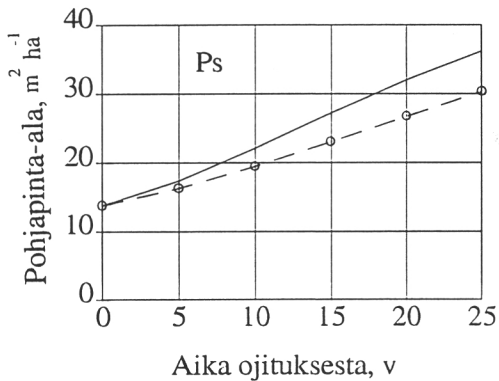
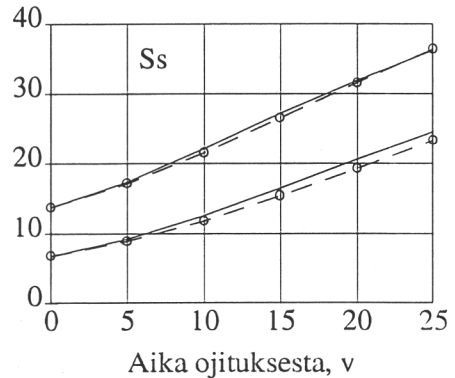
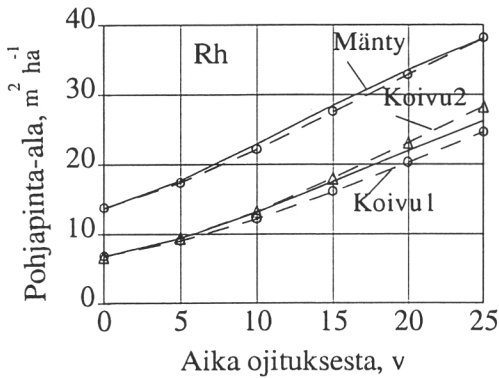
Simulointi tehtiin siten, että kolmella kasvupaikalla ennustettiin kahdenlaisen lähtöpuuston (metsiköt 400 ja 428, taulukko 1) kehitys sekä männikkönä että koivikkona. Näin voitiin puulajin ja kasvupaikan ohella vaihdella lähtöpuuston määrää ja rakennetta. Tämän lisäksi tarkasteltiin eräiden koivun kasvumallin lisämuuttujien vaikutusta tuotokseen.

Simulointijakson alussa ollut ero lähtöpuuston tasossa näytti pysyvän lähes samansuuruisena koko simulointijakson ajan eikä alkutilanteen puustoeroista näytännyt aiheutuvan eroja myöhemmässä kehityksessä (kuva 2). Ruohoisten ja suursaraisten kasvupaikkojen välillä oli vain vähäisiä eroja tuotoksen tasossa kummallakin puulajilla. Kaikissa vertailuissa männyn kasvu oli hieman parempi kuin koivun. Erolla saattaa olla merkitystä alunperin harvahkoilla ruohoisen sararämeen kasvupaikoilla. Ensimmäinen 5-vuotisjakso käsitti elpymisvaiheen, jonka aikana mallin antama kasvun taso oli alhaisin. Tämän jälkeen pohjapinta-ala lisääntyi lineaarisesti 15 vuotta. Mallissa korkein kasvu ajoittui välille 11–25 vuotta ojituksesta. Männyn pohjapinta-alan kasvu alkoi pienetä 20 vuoden kuluttua ojituksesta, mutta koivulla kasvu ei vielä muuttunut. Selkeä ero männyn eduksi syntyi ainoastaan piensaratason kasvupaikoilla, joilla koivu kasvoi selvästi heikommin kuin mänty.

Tulos muuttui koivun eduksi silloin, jos etsittiin koivun kasvuun vaikuttavien lisämuuttujien kannalta optimiolot (kuva 2, Koivu2). Koivun kasvuun vaikuttivat edullisesti meren läheisyys ja männyn suhteellisen pohjapinta-alaosuuden lisääntyminen. Mänty ja koivu kilpailevat siis tasaväkisesti samassa metsikössä. Syy puhtaiden hieskoivikoiden heikompaan kasvuun voi olla siinä, että niitä esiintyy ravinteisuudeltaan hyvinkin ongelmallisilla kasvupaikoilla.

### 4 Tarkastelu

Tämän tutkimuksen tulokset ovat melko pitkälle yhdenmukaisia aiemmin esitettyjen kanssa. Ruohoisten ja suursaraisten kasvupaikkojen välillä malleissa oli sekä männyllä että koivulla merkitsevä tuotosero, joka kahdenkymmenen viiden vuoden jaksolla jäi kuitenkin alle 2 m<sup>2</sup>:iin hehtaarilla. Kiertoajan puitteissa kumuloituva ero voi kuitenkin muodostua sellaiseksi, että kasvupaikat on järkevää sijoittaa eri tuotoluokkiin. Keltikankaan ja Seppälän (1977) mukaan ruohoisen ja suursaratason kasvupaikkojen koivikot eivät suhteellisen kasvun tason perusteella poikenneet toisistaan. Saramäen (1977) aineistossa ruohoisten ja mustikkaisten kasvupaikkojen metsiköiden valtapituuksien keskimääräinen ero oli hyvin pieni. Erot nyt tehdyn ja aikaisempien tutkimusten välillä johtunevat laskentatapojen ja aineistojen erilaisuudesta. Aiemmat selvitykset perustuivat alueellisesti paljon rajatumpiin aineistoihin. Tässä käytetty puutason kasvumalli ottaa huomioon useita sellaisia kasvuun vaikuttavia tekijöitä, joiden vaihtelu voi peittää alleen kasvupaikan vaikutuksen metsikkötason kasvua tarkasteltaessa (vrt. Keltikangas ja Seppälä 1977).



Kuva 2. Koemetsiköiden simuloitu pohjapinta-alan kehitys 25 vuoden aikana ojituksen jälkeen eri kasvupaikoilla (Rh = ruohois tason rämeet ja nevat, Ss = suursaraisen tason rämeet ja nevat, Ps = piensaraisen tason rämeet ja nevat). (Mänty = puhdas männikkö, Koivu1 = puhdas koivikko, Koivu2 = koivun osuus 70 % pohjapinta-alasta, merisyysindeksi 10).

Piensaratason soilla, joihin tässä on luettu pallosarämeiden lisäksi korpirämeet, kangsarämeet, vaivaiskoivurämeet, tupasvillasararämeet sekä osa lyhytkortisia soita, männyn tuotos oli selvästi suurempi kuin koivun. Männyn mallissa suursara- ja piensaratason kasvupaikat kuuluivat samaan kasvupaikkaluokkaan. Vaikka koivua voi luontaisesti piensaratason soilla esiintyä, jää sen kasvu kituvaksi.

Toistaiseksi suometsien kasvatuksen käytännön ohjeet ovat perustuneet kivennäismaiden metsiköistä saatujen tulosten soveltamiseen. Ainoastaan turvemaiden hieskoivikoiden kasvatusmallit (Niemistö 1991) sekä kasvu- ja tuotostaulukot (Saramäki 1977) perustuvat ojitusalueilta kerätyn aineiston antamiin tuloksiin. Suositukset muiden metsiköiden kuin hieskoivikoiden kasvatusmalleiksi noudattelevat kivennäismaiden vastaaviksi arvioitujen kasvupaikkojen ohjeita (Päivänen 1990). Epätasaisissa ja erikokoisissa suometsiköissä runkoluku on kuitenkin harvennuserusteena pohjapinta-alaa parempi ja jäävän puuston määrän alarajasta voidaan tinkiä 10–15 %. Koivua on pidetty kasvatuskelpoisena hyvillä ja keskiravinteisilla soilla (Metsänhoitosuositukset 1994).

Nyt tehdyn vertailun pohjalta voidaan aiempia ohjeita pitää oikeana osuneina, koska mänty ja koivu olivat tuotokseltaan samaa tasoa ruohoisilla ja suursaraisilla kasvupaikoilla. Tietyissä oloissa koivun selvästi mäntyä parempi kasvu voi selittyä sillä, että laadinta-aineistossa koivu kuitenkin esiintyyneen kunkin kasvupaikkaluokan ravinteisemmassa laidassa (vrt. Keltikangas ja Seppälä 1977). Ero männyn hyväk-

si oli selvempi nuorissa puustoissa, vaikka puulajien luonteen perusteella voisi olettaa päinvastaista. Myös tähän voi olla syynä mallien laadinta-aineisto, jossa nuorten hieskoivujen kasvua rajoittaa taimikoiden paljon männiköitä suurempi tiheys sekä se, että koivu usein esiintyy vallitussa latvuserroksessa (ks. Hökkä ja Laine 1988). Sen sijaan ojitusaluiden männyntaimikoissa tiheys ei rajoita kasvua, koska puustot ovat keskimääräin harvempia (Hökkä ja Laine 1988).

Vertailu antaa myös mahdollisuuden arvioida puulajivalinnan merkitystä ojitusaluiden kasvatushakkuissa. Sekä ruohoisen että suursaraisen tason kasvupaikoilla, joissa on luontaisesti mänty-koivu -sekapuusto, voi kasvamaan jättää koivua tai mäntyä ilman, että puulajin vuoksi on odotettavissa kasvutappioita. Tällöin harvennuksissa voidaan asettaa painoa jäävän puuston laatuun. Päätehakkuuvaiheessa mäntyvaltainen puusto tuottaa kuitenkin todennäköisesti korkeamman hakkuutulon, koska männystä valtaosa käy sahatavaraksi. Turvemaidella hieskoivun tukkipuun tuotos sen sijaan on varsin vähäinen puulajin vikaisuuden vuoksi (Verkasalo 1988). Piensaratason kasvupaikoilla hieskoivu ei yllä saman tason tuotokseen kuin mänty. Tällöin kasvatushakkuissa voi jättää parhaita koivuja lähinnä aukkopaikkoihin.

On kuitenkin syytä huomata, että tämä vertailu jättää huomiotta harvennusreaktion tason vaikutuksen tuotokseen. Muutenkin luotettavimmat päätelmät ojitusaluemetsien kasvatusvaihtoehtojen tuotosvaikutuksista voidaan tehdä vasta lähitulevaisuudessa, kun 1980-luvun puolivälissä aloitettu harvennuskoesarja on ehtinyt tuottaa tuloksia.

## Kirjallisuus

- Heikurainen, L. 1959. Tutkimus metsäojitusalueiden tilasta ja puustosta. Referat: Über waldbaulich entwässerte Flächen und ihre Waldbestände in Finnland. *Acta Forestalia Fennica* 69(1): 1–244.
- 1971. Virgin peatland forests in Finland. *Acta Agraria Fennica* 123: 11–26.
- Hökkä, H. & Laine, J. 1988. Suopuustojen rakenteen kehitys ojituksen jälkeen. Summary: Post-drainage development of structural characteristics in peatland forest stands. *Silva Fennica* 22(1): 45–65.
- Keltikangas, M. & Seppälä, K. 1977. Ojitusaluiden hieskoivikoiden kasvatus taloudellisena vaihtoehtona. Summary: The economics of growing birch stands on drained peatlands. *Silva Fennica* 11(1): 49–68.
- , Laine, J., Puttonen, P. & Seppälä, K. 1986. Vuosina 1930–1978 ojitetut suot: ojitusaluiden inventoinnin tuloksia. Summary: Peatlands drained for forestry during 1930–1978: results from field surveys of drained areas. *Acta Forestalia Fennica* 193. 94 s.
- Metsänhoitosuosituksen 1994. Metsäkeskus Tapion julkaisu 6. Helsinki. 72 s.
- Niemistö, P. 1991. Hieskoivikoiden kasvustiheys ja harvennusmallit Pohjois-Suomen turvemaidella. Summary: Growing density and thinning models for *Betula pubescens* stands on peatlands in northern Finland. *Folia Forestalia* 782. 36 s.
- Penttilä, T. & Honkanen, M. 1986. Suometsien pysyvien kasvukoalojen (SINKA) maastotyöohjeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 226. 98 s.
- Päivänen, J. 1990. Suometsät ja niiden hoito. Kirjayhtymä. 231 s.
- Saramäki, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Summary: Development of white birch (*Betula pubescens* Ehrh.) stands on drained peatlands in northern Central Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*. 91(2). 59 s.
- Verkasalo, E. 1988. Hieskoivu vaneripuuna. Julkaisussa: Metsäteknologian teemapäivä Suonenjoella 16.2.1988. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 286: 96–109.

# Viljelymänniköt – määrää vai laatua?

---

Martti Varmola  
Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema  
PL 16, 96301 Rovaniemi

## 1 Johdanto

Vaikka metsää viljeltiin Suomessa ja Lapissakin jo 1900-luvun alussa (Ahola 1949, Pohtila ja Timonen 1980), metsänviljely alkoi Suomessa käytännön mitassa vasta 1920-luvulla (Cajander 1932). Metsänviljely oli 1920-luvulla etupäässä männyn kylvöä. Istutusala oli vuosittain 400–800 hehtaaria, mutta kylvöala lisääntyi enimmillään lähelle 10 000 hehtaaria vuodessa.

Metsänviljely yleistyi nopeasti 1950-luvulla ja saavutti 1960-luvun alkupuoliskolla pysyvästi 110 000–150 000 hehtaarin vuotuisen tason. Kaikesta metsänviljelystä männyn osuus oli 60–80 %, ja männyn viljelystä istutuksen osuus oli 1960-luvun lopulta lähtien 60–80 %.

Yhdistämällä eri tilastolähteet (Cajander 1932, Ahola 1949, Metsätilastoa 1967, Metsätilastollinen vuosikirja 1968, 1969, 1970, 1971, Aarne 1995) saadaan Suomen viljelymetsien kokonaispinta-alaksi vuoden 1994 loppuun mennessä:

Männyn istutus	2,18 milj. ha
<u>Männyn kylvö</u>	<u>1,73 milj. ha</u>
Yhteensä mänty	3,91 milj. ha
<u>Muut puulajit</u>	<u>1,23 milj. ha</u>
Yhteensä viljely	5,14 milj. ha

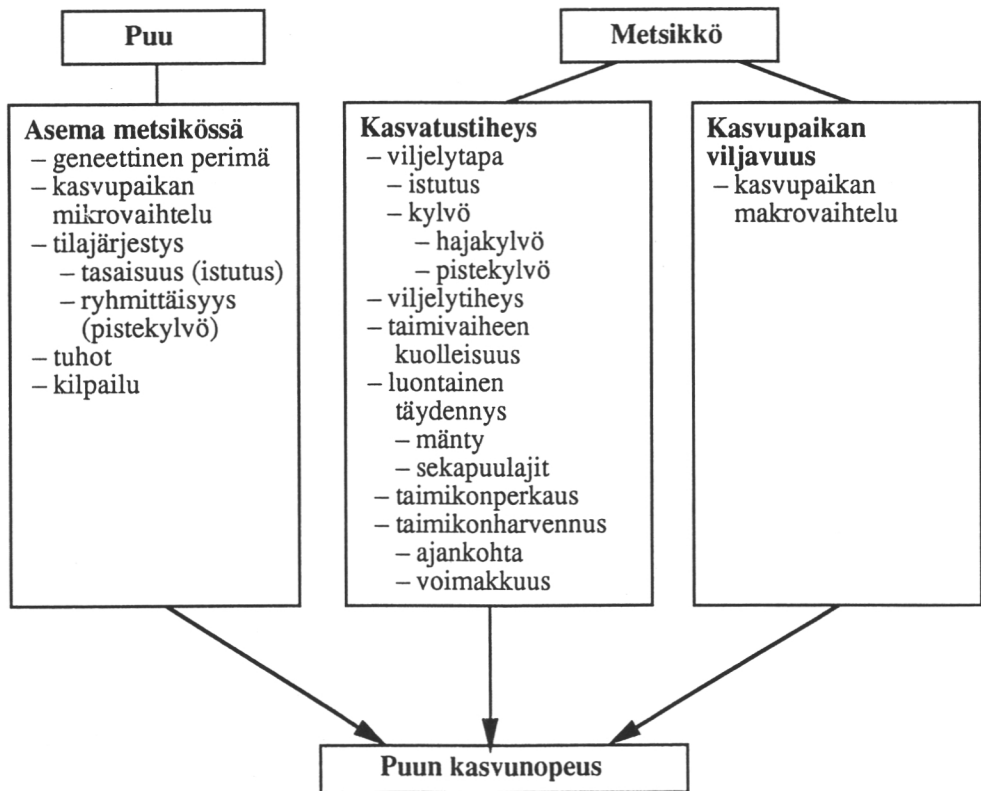
Männiköiden määrä on 76 % kaikista viljelymetsiköistä. Viljelymänniköistä 56 % on istutettu ja 44 % kylvetty. Jos oletetaan, että viljeltävä alue aina pysyy metsämaana, Suomen metsämaan pinta-alasta (20,01 milj. ha) on nykyisin vasta hieman yli neljännes, 25,6 %, viljelymetsiköitä. 90 % viljelymänniköistä on vielä alle 40-vuotiaita.

Keski-Eurooppaan verrattuna Suomen viljelymetsätalous on nuorta. Keski-Europassa esiteltiin jo 1700-luvulla yksityiskohtaisesti kylvöön, taimitarhan perustamiseen ja puiden istuttamiseen liittyviä menetelmiä ja tekniikoita (Huuri ym. 1989). Cajanderin (1933) arvion mukaan tämän vuosisadan alkupuolella Saksan metsistä uudistettiin viljellen 95 % ja luontaisesti vain 5 %.

Keski-Euroopassa viljelymänniköiden kasvatuksen tavoitteena on aina ollut korkealaatuinen sahatavara (esim. Schmidt-Vogt 1977). Tämän takia viljelytiheydet ovat suomalaisittain ajateltuna suuret. Yleisesti on suositeltu vähintään 10 000 tainta/ha (Abetz 1970, Kramer 1975, Zajaczkowski ym. 1989), mutta viime aikoina on esitetty käytettäväksi alhaisempiakin viljelytiheyksiä (Schmidt-Vogt 1977, Kramer ja Rööös 1989, Spellmann ja Nagel 1992), ei kuitenkaan alle 6 000 tainta/ha.

Suomessa mukailtiin keskieurooppalaista käytäntöä vuosisadan alkupuoliskolla. Tapion taskukirjojen mukaan suosituksena oli männyllä aina 1940-luvun lopulle asti 5 000 kylvökohtaa tai tainta hehtaarille, 1950-luvulla 3 000–4 000, 1960-luvulla 2 000–2 500 ja 1970-luvulla yksiselitteisesti 2 000 kylvökohtaa tai tainta/ha. Uusimmissa metsänhoitosuosituksissa viljelytiheyksinä on 4 000 kylvökohtaa ja 2 000–2 500 tainta/ha (Luonnonläheinen metsänhoito 1994). Valtion metsissä tiheysuositukset ovat hieman korkeammat, 5 000 kylvökohtaa ja 2 200–3 000 tainta/ha (Metsähallitus 1990a, 1990b).

Männyn viljelytiheyksien alentaminen 1950-luvulla ei perustunut vankkaan tutkimustietoon vaan pikemminkin käytännön seikkoihin, istutustyön kalleuteen sekä taimien ja työvoiman puutteeseen (Heikinheimo 1951). Vuokilan (1972) tutkimus käyttörunkojen maksimimäärästä ensiharvennuksessa vahvisti käsitystä



Kuva 1. Nuorten viljelymänniköiden tuotokseen ja laatuun vaikuttavia tekijöitä.

suhteellisen harvan kasvatusasennon eduista. Esimerkiksi puolukkatyyppillä rinnan- korkeusläpimitaltaan vähintään 6 cm:n kuiturunkoja saatiin enintään 2 400–2 600 kpl/ha. 1970-luvulla oli maailmanlaajuisestikin tavoitteena alentaa metsikön perus- tamis- ja varhaishoidon kustannuksia laskemalla viljelytiheyksiä (Low ja Tol 1974) ja koneellistamalla työvaiheita (Hägglund 1974).

Metsikön tuotos ja laatu on yksittäisten puiden kasvun ja laadun summa. Ne tekijät, jotka nuorissa viljelymänniköissä vaikuttavat tuotokseen ja laatuun, voi- daan jakaa puu- ja metsikkötasolle (kuva 1). Olennaista on, että samat tekijät vai- kuttavat sekä puiden kasvuun, erityisesti paksuuskasvuun että sitä kautta myös puiden laatuun. Pyrittäessä selittämään puiden laatuun (kuva 2), esimerkiksi oksik- kuuteen, vaikuttavia tekijöitä puiden kasvun tulee siten olla samanaikaisesti tutki- muksen kohteena.

<b>Ulkoinen laatu</b>	<b>Sisäinen laatu</b>
– runko	– puuaine
– järeys	– tiheys
– runkomuoto	– vuosilustojen leveys
– suoruus	– oksat
– oksat	– läpimitta
– läpimitta	– lukumäärä
– lukumäärä	– oksakulma
– oksakulma	– oksan laatu
– oksan laatu	
– latvus	
– pituus	
– leveys	

Kuva 2. Puun laatua kuvaavia tunnuksia.

Männyn nuoruusvaiheen oksien kasvu määrää suurelta osin rungon arvok- kaimmasta osasta eli tyvitukista saatavan sahatavaran laadun. Männyn rungon järeys ja oksien paksuus ovat hyvin tiukasti sidoksissa toisiinsa, ja viljelymänniköiden laatukasvatuksen tavoite voidaan kiteyttää kysymykseen: kuinka saada oksat kuolemaan tyvitukin alueella mahdollisimman ohuina? Tämä tavoite on ainakin näennäisesti ristiriidassa nopeaan kasvuun ja korkeaan tuotokseen pyrkivien kasva- tusohjelmien kanssa. Seuraavassa tarkastellaan nuorten istutus- ja kylvömänni- köiden kasvuun ja laadulliseen kehitykseen vaikuttavia tekijöitä viimeaikaisten tut- kimusten perusteella.

## 2 Nuorten viljelymänniköiden kasvunopeus

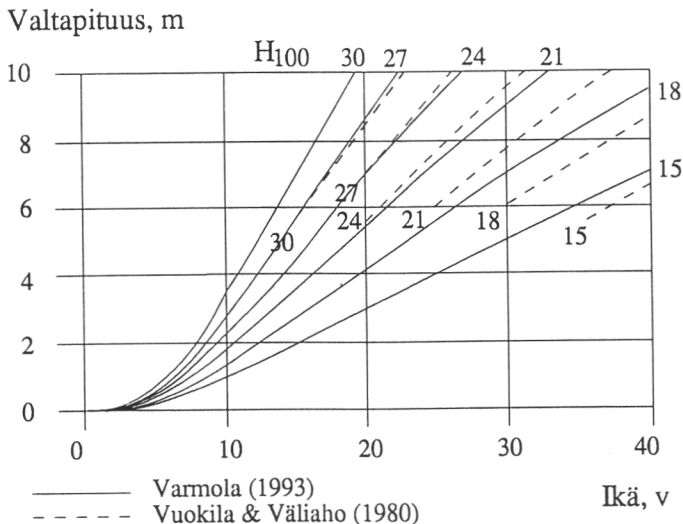
Varmolan (1993) mukaan nuorten viljelymänniköiden kasvu on nopeaa. Valta- pituuden kehitys on nopeampaa kuin mihin varttuneiden viljelymänniköiden mal- lilla (Vuokila ja Väliaho 1980) on aiemmin päädytty (kuva 3). Nopeampi alkukehitys

merkitsee sitä, että viljelymänniköt saavuttavat ensiharvennusvaiheen ennakoitua aiemmin. Valtapituuden kehityksen lisäksi myös keskikäypimitan, pohjapinta-alan ja tilavuuden kehitys on aiemmin arvioitua nopeampaa, mitä osoittaa vertailu kylvö-  
männiköissä 20 vuoden iällä:

	MT ( $H_{100}=27$ )			VT ( $H_{100}=24$ )		
	D, cm	G, m <sup>2</sup> /ha	V, m <sup>3</sup> /ha	D, cm	G, m <sup>2</sup> /ha	V, m <sup>3</sup> /ha
Kallio (1960)	7,5	11,0	50	6,2	9,2	40
Vuokila ja Väliaho (1980)	8,4	11,1	40	6,7	6,3	19
Varmola (1993)	11,7	14,4	55	9,8	9,4	32

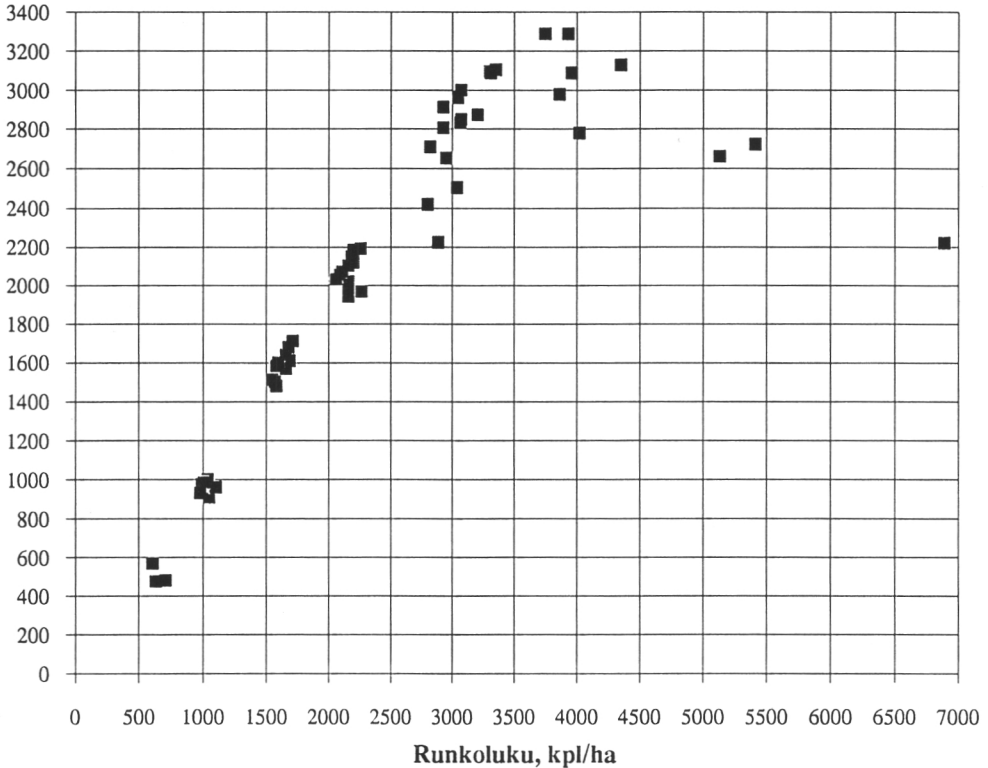
Kallion (1960) tutkimuksessa runkoluvut olivat 4 700 (MT) ja 5 700 (VT) puuta/ha ja muissa vastaavasti 2 000 ja 1 800 puuta/ha. Tämä selittää osan keskikäypimitan erosta. Varmolan (1993) malleilla estimoiduissa pohjapinta-aloissa ja tilavuuk-  
sissa on Vuokilan ja Väliahon (1980) malleilla estimoituihin verrattuna hyvin tarkasti kahden vuoden kasvun suuruinen ero, joka vastaa valtapiuuden kasvueroja em. tutkimusten välillä.

Kylvötaimikoiden pohjapinta-alan kasvu ja siten myös tilavuuden kehitys on Varmolan (1993) mukaan samalla kasvupaikalla istutustaimikoita hitaampaa. Tä-  
män johtuu kylvömäntyjen ryhmittäisestä tilajärjestyksestä. Myös Pukkalan (1988) mukaan ryhmittäisyys pienentää tilavuuskasvua, hänen aineistossaan 10–20 %:lla viidessä vuodessa ensiharvennuksen jälkeen verrattuna tasaiseen tilajärjestykseen.



Kuva 3. Viljelymänniköiden valtapiuuden kehitys Varmolan (1993) sekä Vuokilan ja Väliahon (1980) mukaan.

## Kuiturunkojen lukumäärä, kpl/ha



Kuva 4. Kuiturunkojen lukumäärä ensiharvennuksessa puolukkatyyppin kylvömänniköissä kokonaisrunkoluvun funktiona Salmisen ja Varmolan (1990) aineiston mukaan.

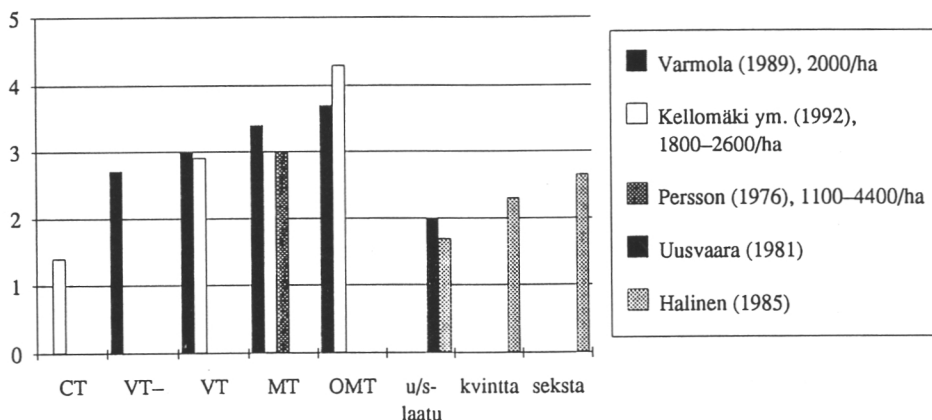
Varmola (1982) arvioi, että puolukkatyyppin kylvömänniköissä kyetään kasvatamaan miltei 3 000 runkoa hehtaarilla käyttöpuun mittoihin kasvatustiheyden ollessa 4 000 puuta/ha jo valtapituudella 10 metriä. Keskimäärin seitsemän metrin valtapituudella harvennettujen kylvötaimikoiden ensiharvennuksessa oli käyttörunkoja yli 3 000 runkoa hehtaarilla kasvatustiheydellä 4 000 puuta/ha (kuva 4), joka todettiin edullisimmaksi pelkästään käyttöpuun määrän kannalta tarkasteltuna (Salminen ja Varmola 1990). Vuokilan (1972) tutkimuksessa pituusboniteetilla  $H_{100} = 24$  käyttöpuun maksimimäärä jäi ensiharvennuksessa 2 600 runkoon/ha. Poistettujen runkojen keskitilavuus oli yli  $50 \text{ dm}^3$  kasvatustiheydellä 2 200 puuta/ha (Salminen ja Varmola 1990), kun vastaava tilavuus Vuokilan (1976) luontaisesti ja kylväen perustettuihin männiköihin perustuvassa tutkimuksessa jäi alle  $30 \text{ dm}^3$ :n. Viljelymetsiköissä päästään siis selvästi suurempiin ensiharvennuskertymiin kuin luontaisesti syntyneissä metsiköissä, joita Vuokilan (1972, 1976) tutkimusten aineistot enimmäkseen olivat. Syinä tähän ovat viljelytaimikoiden tasaikäisyys ja luonnontaimikoita tasaisempi tilajärjestys.

Aikaisella taimikonharvennuksella nopeutetaan järeytymistä. Kolmen metrin valtapituudella harvennetuissa taimikoissa oli 5–7 vuotta taimikonharvennuksen jälkeen esimerkiksi runkoluvulla 1 000 puuta/ha yhtä paljon runkotilavuutta kuin niissä taimikoissa, joissa harvennus tehtiin myöhemmin runkolukuun 2 000 puuta/ha (Varmola 1982). Thernström (1982) osoitti harvennusajankohdan vaikuttavan samalla tavalla järeytymiseen luontaisesti syntyneissä taimikoissa. Jos kylvötaimikoiden kasvatuksen tavoitteena on pelkästään kasvattaa nopeasti järeätä puuta, kylvötuppaiden harvennus kannattaa tehdä aikaisin.

### 3 Istutusmänniköistä saatavan sahatavaran laatu lustonleveyden perusteella

Monissa tutkimuksissa on todettu, että mitä nopeampi männyn nuoruusvaiheen kasvunopeus on, sitä huonommaksi sahatavaran laatu muodostuu (Persson 1976, 1977, Uusvaara 1981, Kärkkäinen ja Uusvaara 1982, Halinen 1985, Kellomäki ym. 1992). Lustonleveysmallilla tehtyjen simulointien mukaan (Varmola 1989) istutusmännityjen tyvileikkauksen keskimääräinen lustonleveys on samaa luokkaa kuin Perssonin (1976) ja Kellomäen ym. (1992) tutkimuksissa (kuva 5) lukuun ottamatta Kellomäen ym. (1992) kanervatyypin männiköiden lustonleveyttä, joka on huomattavasti muiden tutkimusten keskimääräisiä lustonleveyksiä pienempi. Ero johtuu lähinnä siitä, että Kellomäen ym. (1992) kanervatyypin männiköt olivat luontaisesti syntyneitä.

Tyvileikkauksen keskimääräinen lustonleveys, mm



Kuva 5. Tyvileikkauksen keskimääräinen lustonleveys eri tutkimusten mukaan. Lustonleveyden mittaus: Varmola (1989); 0–75 mm ytimestä, Kellomäki ym. (1992); ei ilmoitettu, Persson (1976); 20–70 mm ytimestä, Uusvaara (1981); ytimen ympäristö, Halinen (1985); 0–80 mm ytimestä. Kellomäen ym. (1992) CT-männiköt ja Halisen (1985) aineisto enimmäkseen luontaisesti syntyneistä männiköistä.

Uusvaaran (1981) mukaan tyvilleikkauksen keskimääräinen lustonleveys saa olla korkeintaan 2 mm, jotta sydäntavarasta saadaan viljelymänniköissä paras mahdollinen tulos eli 40 % u/s-laatua. Luontaisesti syntyneistä männiköistä samalla lustonleveydellä saadaan noin 60 % u/s-laatua. Halisen (1985) mukaan keskimääräisen lustonleveyden tulee olla tätäkin pienempi. Näiden vertailujen mukaan istutusmänniköistä saatava sahatavara sijoittuu yleensä seksta-luokkaan (kuva 5).

Istutusmänniköistä ei saada korkealaatuista sahatavaraa nykyisin käytettävillä viljelytiheyksillä. Kasvatustiheyden tulisi jo puolukkatyyppin rehevämällä osalla olla 4 000 puuta/ha, jotta isoimmista puista saataisiin edes jonkin verran u/s-laatua (Varmola 1989). Mustikkatyyppillä ja käenkaali-mustikkatyyppillä huippulaadun tuottaminen ei onnistu 4 000 puun hehtaartiheydelläkään. Kellomäki ym. (1992) päätyvät suositamaan kanervatyyppillä vähintään 2 000 sekä puolukka- ja mustikkatyyppillä vähintään 4 000 puun/ha viljely- ja kasvatustiheyttä, jos tavoitteena on paksuimman oksan jääminen alle 20 mm:n. Halisen (1985) tutkimuksessa 20 mm:n oksaläpimitan vaatimus merkitsee korkeintaan 2 mm:n keskimääräistä lustonleveyttä, jota Varmolan (1989) mukaan ei saavuteta Kellomäen ym. (1992) esittämällä kasvatustiheyksillä. Tätä tulosta tukevat Huurin ym. (1987) tulokset VT:n istutusstiheyskokeesta, jossa 20 mm:n oksanpaksuuteen vaadittiin paksuimmilla puilla 8 000 puun/ha tiheys.

#### **4 Viljelymäntyjen tyvitukin paksuimman oksan läpimitta ja laatukasvatuksen simulointi**

Varmolan (1996) tutkimuksessa laadittiin viljelymänyille tyvitukin (4 metriä) paksuimman oksan läpimittaa kuvaava sekamalli, jossa oksaläpimittaa selittävät puun rinnankorkeusläpimitta, rinnankorkeus- ja keskiläpimitan suhde, metsikön runkoluku ja taimikonharvennuksen ajankohdan valtapituus. Rinnankorkeusläpimitta on selvästi tärkein oksaläpimittaa selittävä muuttuja. Runkoluvun vaikutus oksaläpimittaan on suurin harvoissa taimikoissa. Taimikonharvennuksen ajankohdan vaikutus on hyvin vähäinen.

Viljelymänniköiden laatukasvatusta simuloitiin metsikkötason kasvumallin (Varmola 1993, 1996), tyvitukin paksuimman elävän oksan läpimittaa kuvaavan sekamallin (Varmola 1996) sekä alimman eläviä oksia sisältävän oksakiehkuran järjestysnumeron riippuvuutta puuston rakenteesta kuvaavan mallin (Kellomäki ym. 1992) avulla. Tyvitukin oksaläpimitat simuloitiin sekä pohjapinta-alamediaani-puulle että valtapuulle.

Simulointien mukaan tyvitukin paksuimman oksan läpimitta on sitä suurempi, mitä pienempi metsikön runkoluku tai mitä rehevämpi kasvupaikka on (taulukko 1). Etenkin vähäinen runkoluku suurentaa oksaläpimittoja. Oksaläpimitat ovat pienimmät niissä kylvömänniköissä, joissa ei tehdä taimikonharvennusta lainkaan. Harvennetuissa kylvömänniköissä oksaläpimitat ovat sitä pienempiä, mitä myöhemmin taimikko harvennetaan. Taimikonharvennuksen ajankohdan vaikutus on kuitenkin vähäinen, keskimäärin vain yksi mm harvennusajankohdan muuttuessa

Taulukko 1. Istutus- ja kylvömänniköiden simuloituja tyvitukin paksuimpia eläviä oksia eri kasvupaikoilla, runkoluvuilla ja taimikonharvennuksen ajankohdilla ( $H_{100}$ =pituusboniteetti,  $N$ =runkoluku, kpl/ha,  $d_{tDgM}$ =pohjapintalamediaanipuun paksuin elävä oksa,  $d_{tDdom}$ =valtapuun paksuin elävä oksa).

$H_{100}$	15 (CT-)		18 (CT)		21 (VT-)		24 (VT)		27 (MT)		30 (OMT)	
N	$d_{tDgM}$	$d_{tDdom}$	$d_{tDgM}$	$d_{tDdom}$	$d_{tDgM}$	$d_{tDdom}$	$d_{tDgM}$	$d_{tDdom}$	$d_{tDgM}$	$d_{tDdom}$	$d_{tDgM}$	$d_{tDdom}$
Istutus												
1 000	–	–	35	36	36	39	39	42	41	47	42	49
2 000	–	–	29	35	30	37	32	40	34	45	34	45
3 000	–	–	26	34	27	36	29	39	30	43	30	44
4 000	–	–	24	33	25	35	27	39	28	43	28	43
5 000	–	–	23	33	23	35	25	38	26	42	26	42
6 000	–	–	22	32	22	33	24	36	25	41	25	42
7 000	–	–	21	32	21	33	23	36	24	41	24	41
8 000	–	–	20	31	21	33	22	36	23	41	23	41
9 000	–	–	20	31	20	32	21	35	22	40	23	40
10 000	–	–	19	30	20	32	21	35	21	39	22	40
Kylvö, harventamaton												
6 000	19	27	20	30	20	30	21	33	21	36	–	–
8 000	18	26	19	29	19	30	19	32	20	35	–	–
10 000	17	25	18	28	18	29	18	32	19	34	–	–
12 000	16	25	17	28	17	29	17	31	18	33	–	–
Kylvö <sup>1)</sup>												
1 000	29	30	32	34	32	35	34	38	35	40	–	–
2 000	25	29	26	32	27	34	28	36	29	39	–	–
3 000	22	28	24	31	24	33	26	35	26	38	–	–
4 000	21	27	22	31	23	32	24	34	24	37	–	–
Kylvö <sup>2)</sup>												
1 000	28	30	31	33	32	35	34	38	35	40	–	–
2 000	24	29	26	32	27	33	28	36	29	38	–	–
3 000	22	28	24	31	24	33	25	35	26	37	–	–
4 000	21	27	22	30	22	32	23	34	24	37	–	–

1) valtapituus harvennettaessa 3 m, runkoluku ennen harvennusta 10 000 kpl/ha

2) valtapituus harvennettaessa 6 m, runkoluku ennen harvennusta 10 000 kpl/ha

valtapituudella ilmaistuna kolmesta kuuteen metriin. Ero valtapuiden ja pohjapintalamediaanipuun tyvitukin paksuimpien oksien läpimittojen välillä on sitä suurempi, mitä suurempi runkoluku tai rehevämpi kasvupaikka on.

Simulointien mukaan oksaläpimittoihin vaikuttaa istutusmänniköissä eniten taimikon runkoluku (taulukko 1). Istutusmänniköissä nyky-suositusten mukaisilla kasvatustiheyksillä (2 000 puuta/ha) tyvitukin paksuin oksa on karuimpia kasvupaikkoja (CT) lukuun ottamatta pohjapinta-alamediaanipuulla ja sitä paksuimmilla

puilla vähintään 30 mm. Valtapuiden paksuimmat oksat ovat 35–45 mm. Kasvatustiheydellä 5000 puuta/ha pohjapinta-alamediaanipuun tyvitukin paksuimmat oksat ovat 23–26 mm ja valtapuiden 33–42 mm. Istutusmänniköiden aineistojen ulkopuolella (runkoluku 6 000–10 000 puuta/ha) tehtyjen ekstrapolointien mukaan vasta tiheyksillä 8 000–10 000 puuta/ha pohjapinta-alamediaanipuun tyvitukin paksuimmat oksat jäävät 20 mm:n tuntumaan. Silloinkin valtapuiden paksuimmat oksat ovat 30–40 mm.

Kylvömänniköissä tyvitukin paksuimmat oksat ovat läpimitaltaan keskimäärin 2–7 mm ohuempia kuin istutusmänniköissä samalla runkoluvulla. Ero on suurempi valta- kuin keskipuilla. Kylvömänniköissäkin oksat paksuuntuvat nopeasti, jos metsikkö jää harvaksi taimikonharvennuksen jälkeen. Keskimäärin 25 mm:n oksanpaksuuteen päästään, jos taimikko harvennetaan kuuden metrin valtapituudella ja kasvatettavaksi jätetään 3 000 puuta/ha (taulukko 1).

## 5 Nopean kasvun ja korkean laadun yhdistäminen

Edellä on osoitettu, että viljelymänniköt kasvavat nuoruusvaiheessa nopeasti, nopeammin kuin mitä aiemmin on tutkimuksissa esitetty. Nuoruusvaiheen nopea kasvu merkitsee yleensä paksuja oksia ja huonoa sahatavaran laatua. Mitkä ovat mahdollisuudet kasvattaa viljelymänniköissä hyvälaatuista saharavaa? Nähdäkseni viljelymänniköiden kasvatusohjelmat tulisi jakaa kahteen osaan.

*Istutusmänniköt* soveltuvat etupäässä massapuun tuotantoon. Niiden järeytyminen ja tilavuuskasvu on nopeaa ja käyttöpuun määrä ensiharvennuksessa suuri. Istutusmänniköt antavat hyvät mahdollisuudet kannattavien ensiharvennusten tekemiseen. Korkealaatuisen sahatavaran tuottaminen ei istutusmänniköissä onnistu ilman nykyisten viljelytiheyksien kaksinkertaistamista, mikä ei liene taloudellisesti mahdollista. Istutusmänniköt soveltuvat vain kaksivaiheiseen pystykarshintaan oksien nopean paksuuskasvun vuoksi.

*Kylvömänniköt* antavat mahdollisuuden laatupuun kasvatukseen. Kylvökohtien määrän tulisi olla vähintään 5 000 kpl/ha, eikä kylvötuppaiden harventamista pidä tehdä, ennen kuin valtapituus on noin kuusi metriä. Harvennuksessa kannattaa jättää 3 000–4 000 puuta/ha kasvamaan, koska kylvömännikötkin pystyvät tuottamaan yli 3 000 kuiturunkoa normaaliin ensiharvennuksen mennessä. Korkealaatuisen sahatavaran kasvattamisen periaatteena on saada oksat kuolemaan tyvitukin alueella mahdollisimman ohuina. Tämä vaatii suurta kasvatustiheyttä aina ensiharvennuksen asti.

## Kirjallisuus

- Aarne, M. (toim.). 1995. Metsätalustollinen vuosikirja 1995. Statistical Yearbook of Forestry. Suomen virallinen tilasto. Maa- ja metsätalous 5. 354 s.
- Abetz, P. 1970. Bestandesdichte und Astdurchmesser bei der Rheintalkiefer. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 141(12): 233–238.

- Ahola, V. 1949. Metsänviljely. Julkaisussa: Kalela, E.K., Keltikangas, V. & Aro, P. (toim.). Suuri metsäkirja. I osa. s. 190–234.
- Cajander, E.K. 1932. Tietoja metsänviljelystoiminnasta Suomessa 1923–1930. Referat: Über die Forstkulturtätigkeit in Suomi (Finnland) 1923–1930. *Silva Fennica* 22. 35 s.
- 1933. Tutkimuksia Etelä-Suomen viljelyskuusikoiden kehityksestä. Referat: Untersuchungen über die Entwicklung der Kulturfichtenbestände in Süd-Finnland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 19(3). 101 s.
- Halinen, M. 1985. Männyn nuoruusvaiheen kasvunopeuden vaikutus sahatavaran laatuun. Summary: The effect of the growth rate of young pine on the quality of sawn goods. *Silva Fennica* 19(4): 377–385.
- Heikinheimo, O. 1951. Metsänistutukset huokeammiksi ja yleisemmiksi. *Metsälehti* 45: 1–2.
- Huuri, O., Huuri, L. & Oja, S. 1989. Selostus vuonna 1713 julkaistusta Hannss Carl von Carlowitzin teoksesta *Sylvicultura Oeconomica*. English section: An Account of *Sylvicultura oeconomica* by Hannss Carl von Carlowitz, published in 1713. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 323. 140 s.
- Hägglund, B. 1974. Treatment of young stands. Symposium stand establishment. Proceedings. IUFRO joint meeting, Divisions 1 and 3. Wagenigen – The Netherlands, October 15–19, 1974. s. 347–372.
- Kallio, K. 1960. Etelä-Suomen kylvömänniköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of pine stands established by sowing in the south of Finland. *Acta Forestalia Fennica* 71(3). 78 s.
- Kellomäki, S., Lämsä, P., Oker-Blom, P. & Uusvaara, O. 1992. Männyn laatukasvatus. *Silva Carelica* 23. 133 s.
- Kramer, H. 1975. Bestandesbegründung unter dem Aspekt der künftigen Durchforstung. *Der Forst- und Holzwirt* 30(17): 324–330.
- & Rööös, M. 1989. Durchforstungsversuch in einem weitständig begründeten Kiefernbestand. *Forst und Holz* 44(6): 139–144.
- Kärkkäinen, M. & Uusvaara, O. 1982. Nuorten mäntyjen laatuun vaikuttavia tekijöitä. Abstract: Factors affecting the quality of young pines. *Folia Forestalia* 515. 28 s.
- Low, A.J. & Tol, G.v. 1974. Initial spacing in relation to stand establishment. Symposium stand establishment. Proceedings. IUFRO joint meeting, Divisions 1 and 3. Wagenigen – The Netherlands, October 15–19, 1974. s. 296–315.
- Luonnonläheinen metsänhoito. 1994. Metsänhoitosuosituksset. Metsäkeskus Tapion julkaisuja 6. 72 s.
- Metsähallitus. 1990a. Metsien hoito. Suositus, Etelä-Suomen piirikuntakonttori. 60 s. + 16 liitettä.
- 1990b. Metsien hoito. Suositus, Perä-Pohjolan piirikuntakonttori. 68 s. + 15 liitettä.
- Metsätilastoa. 1967. I Metsävaranto. Forest statistics of Finland. I Forest resources. *Folia Forestalia* 32. 67 s.
- Metsätilastollinen vuosikirja. 1968. *Folia Forestalia* 47. 93 s.
- 1969. *Folia Forestalia* 70. 126 s.
- 1970. *Folia Forestalia* 96. 142 s.
- 1971. *Folia Forestalia* 130. 176 s.
- Persson, A. 1976. Förbandets inverkan på tallens sågtimmerkvalitet. Summary: The influence of spacing on quality of sawn timber from Scots pine. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion. *Rapporter och Uppsatser* 42. 122 s.
- 1977. Kvalitetsutveckling inom yngre förbandsförsök med tall. Summary: Quality development in young spacing trials with Scots pine. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsproduktion. *Rapporter och Uppsatser* 45. 152 s.
- Pohtila, E. & Timonen, M. 1980. Suojametsäalueen viljelytaimikot ja niiden varhaiskehitys. Summary: Scots pine plantations and their early development in the protection forests of Finnish Lapland. *Folia Forestalia* 453. 18 s.
- Salminen, H. & Varmola, M. 1990. Puolukkatyyppin kylvömänniköiden kehitys taimikon myöhäisestä harvennuksesta nuoren metsän ensiharvennukseen. Summary: Development of seeded Scots pine stands from precommercial thinning to first commercial thinning. *Folia Forestalia* 752. 29 s.
- Schmidt-Vogt, H. 1977. Keski-Euroopan metsänhoidon kehityssuuntia. *Silva Fennica* 11(1): 42–48.

- Spellmann, H. & Nagel, J. 1992. 2. Auswertung des NELDER-Pflanzverbandsversuches mit Kiefer im Fostamt Walsrode. Summary: Evaluating the NELDER-spacing experiment with scots pine in Walsrode. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 163(11–12): 221–229.
- Thernström, P.-O. 1982. Några resultat från sex röjningsförsök med röjning i tallungskog vid olika beståndsålder. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsproduktion. Examenarbete 3. 69 s.
- Uusvaara, O. 1981. Viljelymänniköistä saadun sahatavaran laatu ja arvo. Summary: The quality and value of sawn goods obtained from plantation-grown Scots pine. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 27. 108 s.
- Varmola, M. 1982. Taimikko- ja riukuvaiheen männikön kehitys harvennuksen jälkeen. Summary: Development of Scots pine stands at the sapling and pole stages after thinning. Folia Forestalia 524. 31 s.
- 1989. Männyn istutustaimikoiden lustonleveysmalli. Abstract: A model for ring width of planted Scots pine. Silva Fennica 23(4): 259–269.
- 1993. Viljelymänniköiden alkukehitystä kuvaava metsikkömalli. Summary: A stand model for early development of Scots pine cultures. Folia Forestalia 813. 43 s.
- 1996. Nuorten viljelymänniköiden tuotos ja laatu. Abstract: Yield and quality of young Scots pine cultivations. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 585. 70 s. + 6 liitettä.
- Vuokila, Y. 1972. Taimiston käsittely puuntuotannolliselta kannalta. Summary: Treatment of seedling stands from the viewpoint of production. Folia Forestalia 141. 36 s.
- & Väliäho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 99(2). 271 s.
- 1976. Ensiharvennuskertymä. Summary: Yield from the first thinning. Folia Forestalia 264. 14 s.
- Zajaczkowski, J., Lech, A. & Kopyrk, W. 1989. Ein NELDER-Pflanzenverbandsversuch mit Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) in Südostpolen. Summary: A NELDER-desing Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) spacing experiment in South-East Poland. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 160(9–10): 205–209.

# Pohjois-Suomen metsien hakkuumahdollisuudet

---

**Jari Jämsä ja Hannu Hirvelä**  
**Metsäntutkimuslaitos, Helsingin tutkimuskeskus**  
**Unioninkatu 40 A, 00170 Helsinki**

## 1 Johdanto

Suomessa metsävarojen tilaa on seurattu toistuvien inventoinnein 1920-luvulta lähtien. Inventointiaineistosta on pystytty laskemaan luotettavasti erilaisia Suomen metsiä kuvaavia tunnuksia (esim. Ilvessalo 1927, Kuusela ja Salminen 1991). Keskeisimpiä näistä tunnuksista ovat olleet metsämaan pinta-ala, puuston kokonaistilavuus ja kasvu sekä puuston ikäluokkien osuudet. Metsiä kuvaavien tunnuksien avulla on pyritty arvioimaan myös tulevia hakkuumahdollisuuksia (esim. Kuusela ja Nyysönen 1962).

Yksityiskohtainen valtakunnan metsien inventoinnin aineisto ja hakkuumahdollisuuksien säännöllinen arviointi ovat luoneet perustan kehittää edelleen metsätalouden suunnittelumenetelmiä ja metsätaloudellisia analyysejä. Nykyisin inventointiaineistoa käytetään metsien tulevan kehityksen ennustamiseen puuston syntymis-, kasvu- ja kuolemismallien avulla. Metsän luonnonprosesseja kuvaavat mallit, metsässä tehtävät toimenpiteet sekä metsien käytölle asetetut tavoitteet toteuttavan tuotanto-ohjelman valinta on yhdistetty MELA-järjestelmässä yhdeksi kokonaisuudeksi (Siitonen 1983, Siitonen ym. 1995). Suomen metsien käyttömahdollisuuksien selvittäminen on MELA-järjestelmän kehittämisen ja soveltamisen keskeisin tavoite (Metsä 2000... 1985, Metsä 2000... 1992, Siitonen 1994).

Lapin metsästrategiatyöryhmä tilasi syksyllä 1995 Metsäntutkimuslaitokselta selvityksen Pohjois-Suomen metsien hakkuumahdollisuuksista. Laskelmavaihtoehtojen perustana olivat erilaiset metsienkäsitteilystrategiat ja niistä johdetut hakkuumahdollisuusarviot. Laskelmien tarkoituksena oli osoittaa erilaisia puun- ja metsävarojen kehitysvaihtoehtoja lähivuosikymmeninä. Selvityksen pohjalta Lapin metsästrategiatyöryhmä laatii esityksen Lapin metsien kestävästä käytön strategiaksi (Lapin metsästrategia 1996). Teollisuuden puuhuollon vuoksi laskelmat ulotettiin koko Pohjois-Suomen alueelle. Hakkuumahdollisuuksien arviot laskettiin MELA-järjestelmällä.

## 2 Aineisto

### 2.1 Perusaineisto

Laskelmien aineistona käytettiin valtakunnan metsien kahdeksannessa inventoinnissa mitatuista koeala- ja puutiedoista muodostettua MELA-aineistoa Pohjois-Suomesta. Alue käsittää Kainuun, Pohjois-Pohjanmaan, Koillis-Suomen ja Lapin metsälautakunnat (kuva 1). Aineiston maastomittaukset on tehty vuosina 1992–1994 ja inventointitiedot on julkistettu metsälautakunnittain vuosina 1993–1995.

Valtakunnan metsien kahdeksannen inventoinnin tulosten mukaan metsä- ja kitumaan kokonaisala Pohjois-Suomessa oli 10,94 miljoonaa hehtaaria, josta metsämaata oli 8,54 miljoonaa hehtaaria (taulukko 1) (Tomppo 1993, Tomppo 1995, Tomppo ja Hirvelä 1994, Tomppo ja Hirvelä 1995, Tomppo ja Salminen 1994). Alueen puuvaranto metsä- ja kitumaalla oli 555,0 miljoonaa m<sup>3</sup>, josta männyn osuus oli 61 %, kuusen 21 % ja lehtipuun 18 %. Puuvaranto oli 22 % suurempi kuin valtakunnan metsien viidennessä inventoinnissa 1960- ja 1970-lukujen vaihteessa (Kuusela ja Salovaara 1971). Puuston kasvu oli valtakunnan metsien kahdeksatta inventointia edeltäneenä viitenä vuotena keskimäärin 17,5 miljoonaa m<sup>3</sup> vuodessa, joka on 53 % suurempi kuin puuston kasvu valtakunnan metsien viidennen inventoinnin mukaan.

MELA-laskelmissa metsät luokiteltiin kolmeen käsittelyluokkaan valtakunnan metsien inventoinnissa arvioitujen sijainti- ja monikäyttömuuttujien perusteella:

- ensisijaisesti puuntuotantoon,
- rajoitetusti puuntuotantoon ja
- muuhun kuin puuntuotantoon käytettävät metsät



Kuva 1. Pohjois-Suomen metsälautakunnat.

Metsien luokittelussa käytettiin apuna Lapin Metsä 2000 -ohjelmassa sovellettua käyttörajoitusluokitusta (Lapin Metsä... 1988, s. 22). On kuitenkin huomattava, että käyttörajoitusluokitusta sovellettaessa otettiin huomioon tapahtuneet muutokset erämaametsien osalta, sillä nykyään erämaat lakisääteisinä suojelualueina kuuluvat muuhun kuin puuntuotantoon käytettäviin alueisiin.

Muuhun kuin puuntuotantoon rajatuilla alueilla ei laskelmissa sallittu hakkuita tai muita metsänkäsittelyjä. Rajoitetusti puuntuotantoon käytettävillä alueilla hakkuut eivät olleet täysin kiellettyjä, mutta hakkuutoiminta oli tavanomaisesta varovaisempaa. Näillä alueilla ei sallittu avohakkuita, mutta muut hakkuut ja metsänkäsittely-

toimenpiteet olivat sallittuja. Lisäksi tämän selvityksen yhteydessä Koillis-Suomen ja Lapin metsälautakuntien alueilla kitumaat ja alhaisen lämpösumman suot (lämpösumma < 700 d.d.) rajattiin kuuluvaksi muuhun kuin puuntuotantoon käytettäviin alueisiin.

## 2.2 Omistajaryhmien mukainen aineiston jako

Laskelmat tehtiin erikseen omistajaryhmän perusteella jaetuille kolmelle ositteelle:

- muiden kuin valtion hallinnassa oleville alueille
- Metsähallituksen hallinnassa oleville alueille ja
- koko laskenta-alueelle

Ensimmäiseen ositteeseen luettiin kuuluvaksi maatilametsänomistajien ja muiden yksityisluonteisten metsänomistajien, metsäteollisuutta harjoittavien yhtiöiden ja muiden yhtiöiden, yhteismetsien, kuntien, seurakuntien sekä muiden yhteisöjen hallinnassa olevat metsät. Lisäksi koko laskenta-alueeseen sisältyi Metsähallitukselle kuulumattomia valtion maita, joita ei eroteltu omaksi ositteekseen.

## 2.3 Laskelmien perusteet

Laskelmat tehtiin MELA-järjestelmällä. Metsävarojen ennakoitavissa olevaan kehitykseen varauduttiin 40 vuoden laskelmakauden avulla. Esitetyissä laskelmissa oletettiin muun muassa, että metsiä hoidetaan viime vuosina noudatetun käytännön mukaisesti ja että puuston kasvu säilyy nykyisellä tasolla, ts. kasvuun vaikuttavat tekijät ja puiden reagointi niihin ei tarkastelujakson kuluessa muutu. Muu-

Taulukko 1. Metsä- ja kitumaan kokonaispinta-alat sekä kokonaispuuvaranto ja -kasvu Pohjois-Suomessa valtakunnan metsien kahdeksannen inventoinnin mukaan.

	Pinta-ala, milj. ha		Puuvaranto, milj. m <sup>3</sup>	Kasvu *), milj. m <sup>3</sup> /v
Metsälautakunta	Metsämaa	Metsä- ja kitumaa	Metsä- ja kitumaa	
Kainuu	1,66	1,89	120,5	4,4
Pohjois-Pohjanmaa	1,58	1,85	114,4	4,6
Koillis-Suomi	1,74	2,18	101,2	2,7
Lappi	3,56	5,02	218,9	5,8
Pohjois-Suomi	8,54	10,94	555,0	17,5

\*) Valtakunnan metsien 8. inventointia edeltäneen viiden vuoden keskimääräinen kasvu.

hun kuin puuntuotantoon käytettävät alueet, kuten kansallis- ja luonnonpuistot, eivät olleet mukana hakkuumahdollisuuksien arvioissa. Poikkeamat näistä oletuksista vaikuttavat olennaisesti laskelmien tuloksiin ja niistä tehtyihin päätelmiin.

### 3 Tulokset

#### 3.1 Pohjois-Suomen metsien hakkuumahdollisuudet lähitulevaisuudessa

Pohjois-Suomen metsistä hakattiin vuosina 1986–1994 keskimäärin 8,7 miljoonaa m<sup>3</sup> käyttöpuuta vuodessa (Metsätilastolliset vuosikirjat 1987–1995). Nykyisten metsänhoitosuosituksen mukaan Pohjois-Suomen metsistä voitaisiin hakata jopa 20,0 miljoonaa m<sup>3</sup>/v käyttöpuuta valtakunnan metsien kahdeksatta inventointia seuraavalla 10-vuotiskaudella. Tämä nk. hakkuumahtovaihtoehto, joka on yli kaksinkertainen vuosien 1986–1994 keskimäärin toteutuneisiin hakkuuihin verrattuna, pienentäisi kuitenkin puuvarantoa 11 % seuraavan vuosikymmenen aikana. Hakkuukypsät metsät vähenisivät ja hakkuumahdollisuudet alenisivat useaksi vuosikymmeneksi.

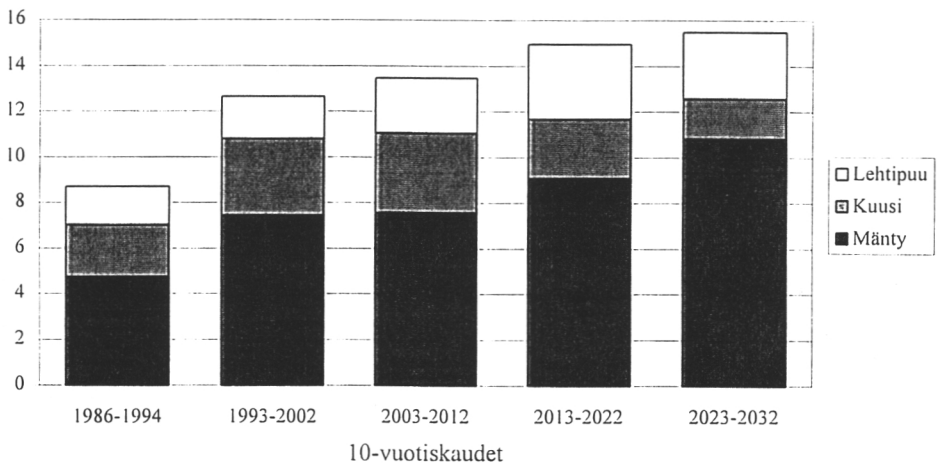
Jos hakkuumahdollisuuksien ei haluta vähenevän tulevaisuudessa, on osa nyt hakattavissa olevaa puustoa säästettävä tuleville vuosikymmenille. Nk. suurin kestävä hakkuumäärä osoittaa rajan, jota suurempien hakkuuiden arvioidaan pienentävän hakkuumahdollisuuksia tulevaisuudessa. Suurin kestävä hakkuumäärä ei ole kuitenkaan sellaisenaan hakkuusuunnite, jonka suuruinen puumäärä metsistä ehdotettaisiin hakattavaksi. Se on kuitenkin hakkuusuunnitteen yläraja, jos puuntuotannon kestävydestä halutaan pitää kiinni.

Seuraavana esitettävä hakkuumäärän arvio laskettiin siten, että maksimoitiin 4 prosentin korkokannalla diskontattua nettotulojen nykyarvoa edellyttäen, että kokonaiskertymä ja nettotulot olivat jatkuvasti tasaisia tai nousevia ja että tukkipuu-kertymä säilyi vähintään ensimmäisen 10-vuotiskauden tasalla. Lisäksi asetettiin tavoitteet puuston määrälle ja puuston tuottoarvolle laskelmakauden lopussa, millä pyrittiin varmistamaan puuntuotannon kestävyysvaatimus laskelmakauden jälkeen. Lapin metsälautakunnassa käytettiin rajoitteena myös suurinta mahdollista uudistamispinta-alaa, joka määritettiin alueen puuston keskimääräisen kiertoajan perusteella.

Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueella kitumaille ei esitetty toimenpiteitä. Puuntuotannon ulkopuolelle jätettiin myös näiden metsälautakuntien alueella olevat alhaisen lämpösumman suot. Lisäksi käytetty laskelmakausi oli 10 vuotta lyhyempi kuin normaalisti suurimman kestävä hakkuumäärän arviota laskettaessa. Näiden syiden takia ei voida puhua täsmällisesti suurimmasta kestävästä hakkuumäärästä, vaan tämän selvityksen yhteydessä käytetään termiä perusvaihtoehto.

Perusvaihtoehdossa hakkuumäärän arvio puuntuotantoon tällä hetkellä käytävissä olevalle pinta-alalle Pohjois-Suomessa oli 12,6 milj m<sup>3</sup>/v seuraavalle kymmenvuotisjaksolle. Hakkuumäärästä oli mäntyä 59%, kuusta 27 % ja lehtipuuta

milj. m<sup>3</sup>/v



Kuva 2. Pohjois-Suomessa vuosina 1986–1994 toteutunut keskimääräinen hakkuumäärä ja hakkuumahdollisuuksien arvio perusvaihtoehdossa.

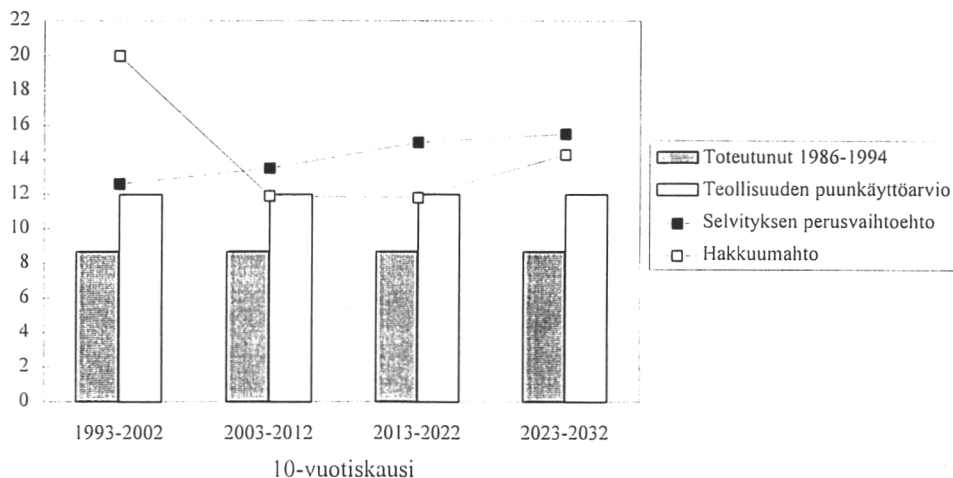
14 % (kuva 2). Tukkipuun osuus kertymääarviosta oli 30 %.

Vuosina 1986–1994 hakkuukertymästä oli mäntyä 54 %, kuusta 27 % ja lehtipuita 19 %. Vuotuinen kokonaispoistuma oli samana aikana keskimäärin 11,0 miljoonaa m<sup>3</sup>. Toteutuneet hakkuukertymät ja poistuma selvitettiin metsälautakunnittain Metsätutkimuslaitoksen tilastojen avulla (Metsätalastolliset vuosikirjat 1987–1995). Teollisuuden kokonaispuunkäyttötarpeeksi Pohjois-Suomessa arvioitiin 12 milj. m<sup>3</sup>/v, kun teollisuus toteuttaa jo tehdyt investointipäätökset (Lapin metsästrategia 1996). Puuvarannon kehitys vuosina 1993–2033, jos hakkuukertymä säilyy vuosien 1986–1994 keskimääräisellä tasolla on esitetty kuvassa 3b. Samassa kuvassa on esitetty myös selvityksen perusvaihtoehtoa, hakkuumahtoa ja teollisuuden puunkäyttötarvetta vastaavat puuvarannon kehitysennusteet. Vastaaavat hakkuuvaihtoehtojen mukaiset kertymät on esitetty kuvassa 3a.

Perusvaihtoehdossa laskettu hakkuumäärän arvio (12,6 milj. m<sup>3</sup>/v) on 14 % suurempi kuin Metsä 2000 -ohjelman hakkuukertymäsuositus 1990-luvulle (Metsä 2000... 1992). Metsä 2000 -ohjelmassa käytettiin valtakunnan metsien seitsemänneksen inventoinnin vuoteen 1990 päivitettyjä tietoja (Siitonen 1990). Lisäksi vuonna 1990 Metsä 2000 -suosituksen laskennassa tavoitteena oli hakea suurinta kestäväää hakkuusuunnitetta hieman pienempi ja puuvarantoa selvästi kartuttava hakkuumäärä (taulukko 2). Valtakunnan metsien inventointien tulosten julkistamisen yhteydessä laskettu suurimman kestävään hakkuukertymän arvio (SK/VMI) oli Pohjois-Suomessa samoin 12,6 milj. m<sup>3</sup>/v (Tomppo 1995, Tomppo ja Hirvelä 1995).

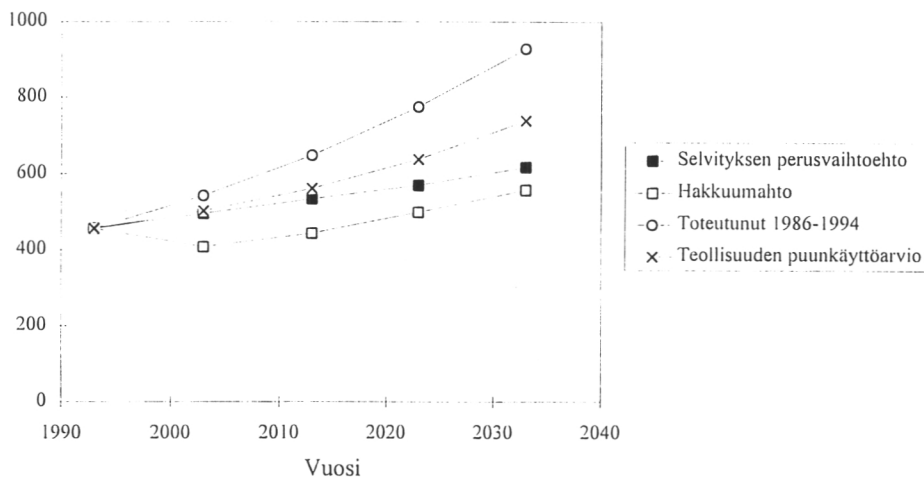
Perusvaihtoehdon hakkuumäärän arvio oli Metsähallituksen metsistä 4,3 milj. m<sup>3</sup>/v ja muista kuin valtion metsistä 8,1 milj. m<sup>3</sup>/v seuraavalle 10-vuotiskaudelle (taulukko 3).

Hakkuukertymä, miljoonaa m<sup>3</sup>/v



Kuva 3. a) Neljän hakkuuvaihtoehdon mukainen hakkuukertymä 1993–2032.

Puuvaranto, milj. m<sup>3</sup>



Kuva 3. b) Hakkuuvaihtoehtoja vastaavat puuvarannon kehitykset.

### 3.2 Vaihtoehtolaskelmat

Laskelmien avulla haluttiin hahmotella tulevaisuutta jo toteutuneen kehityksen valossa, ilman puuntuotannon rajoitteita sekä tulevia muutoksia ennakoiden (Lapin metsästrategia 1996). Saatuja tuloksia voidaan verrata esimerkiksi toteutuneisiin hakkuukertymiin tai teollisuuden arvioihin tulevaisuuden puunkäyttötarpeesta.

Taulukko 2. Pohjois-Suomen hakkuumahdollisuudet kaikkien omistajaryhmien metsistä seuraavalla 10-vuotiskaudella puuntuotantoon käytettävissä olevalla maalla (milj. m<sup>3</sup>/v).

Metsälautakunta	Selvityksen perusvaihtoehto	SK/VMI	Metsä 2000
Kainuu	3,6	3,6	3,3
Pohjois-Pohjanmaa	3,1	3,1	2,7
Koillis-Suomi	2,0	2,0	1,5
Lappi	3,9	3,9	3,5
Pohjois-Suomi	12,6	12,6	11,1

Taulukko 3. Pohjois-Suomen hakkuumahdollisuudet eri omistajaryhmien sekä koko alueen metsistä seuraavalla 10-vuotiskaudella puuntuotantoon käytettävissä olevalla maalla (milj. m<sup>3</sup>/v)

Metsälautakunta	Metsähallitus	Muut kuin valtio	Kaikki yhteensä
Kainuu	1,3	2,3	3,6
Pohjois-Pohjanmaa	0,6	2,5	3,1
Koillis-Suomi	0,6	1,4	2,0
Lappi	1,7	1,9	3,9
Pohjois-Suomi	4,3	8,1	12,6

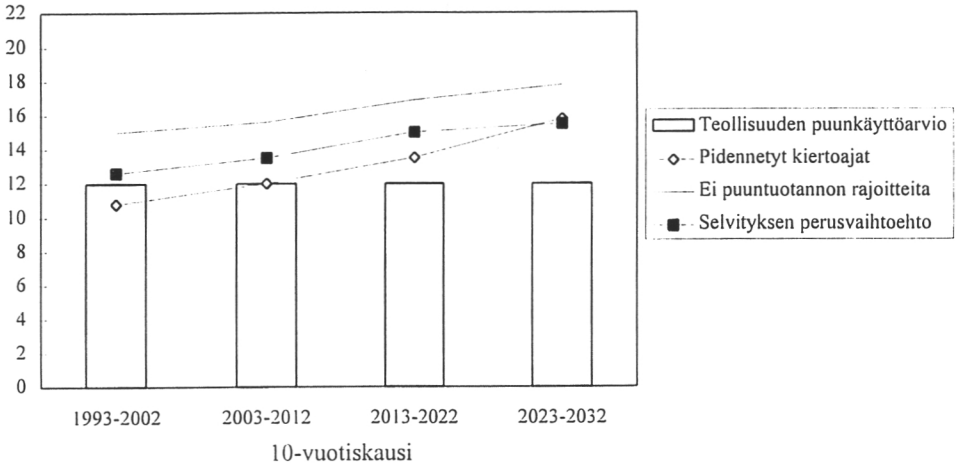
### 3.2.1 Kiertoaikojen pidentämismvaihtoehto

Laskelmissa käytettiin minimikiertoaikoina metsälautakuntien ohjekiertoaikoja. Puuston ikään ja läpimittaan perustuvien minimikiertoaikojen pidentäminen 25 prosentilla alensi suurimman kestävän hakkuukertymän arviota noin 14 % ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella (kuva 4a), mutta tukkipuun osuus kertymästä pysyi suurin piirtein samana. Vastaavasti puuvaranto oli 10 vuoden kuluttua 6 % suurempi (kuva 4b). Kiertoaikoja pidentämällä hakkuumäärä jäi jonkin verran teollisuuden ennustettua puunkäyttötarvetta alhaisemmaksi, mutta toisaalta se oli kuitenkin selvästi suurempi kuin viime vuosina toteutunut hakkuukertymä.

### 3.2.2 Suojelalueiden puuntuotannollinen vaikutus

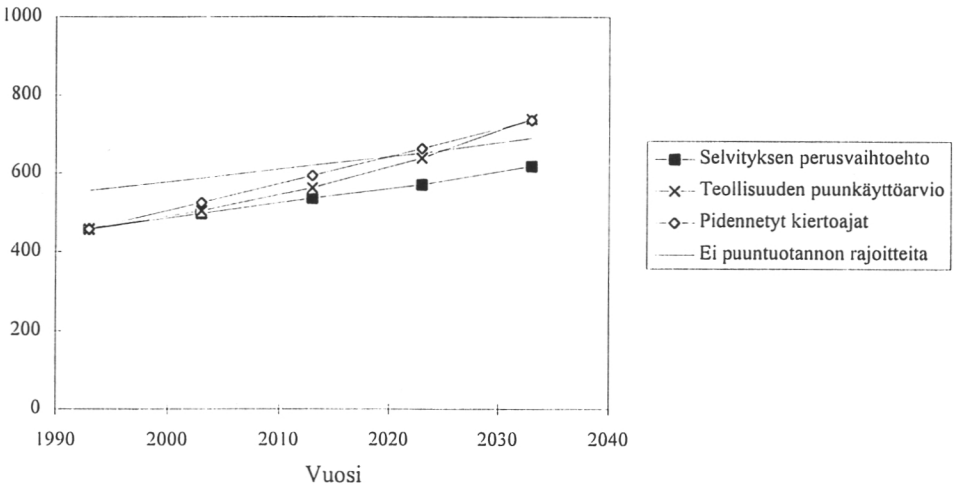
Aikaisemmin metsien suojelu on suunnitteessa otettu huomioon tekemällä suojeluvähennys (esim. Kuusela ja Salminen 1991). Viimeaikaisissa suurimman kestävän hakkuumäärän arvioissa (esim. Siitonen 1990), kuten myös tässä selvityksessä suojelualueet on jätetty laskelmien ulkopuolelle. Vertailun vuoksi laskettiin suurin kestävä hakkuumäärä myös siten, että kaikki nykyiset suojelualueet olivat talous-

Hakkuukertymä, miljoonaa m<sup>3</sup>/v



Kuva 4. a) Kolmen hakkuuvaihtoehdon mukainen hakkuukertymä 1993–2032 sekä selvityksen perusvaihtoehtoa vastaava laskelma ilman puuntuotannon rajoitteita.

Puubaranto, milj. m<sup>3</sup>



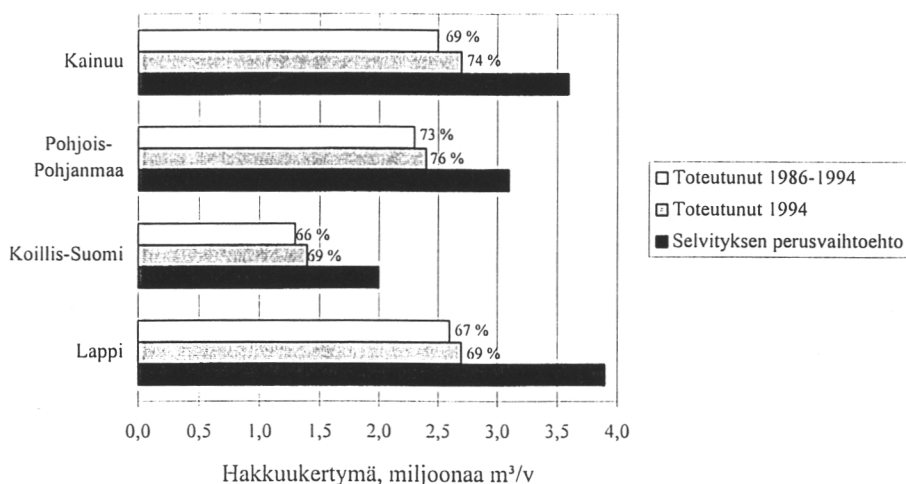
Kuva 4. b) Hakkuuvaihtoehtoja vastaavat puubarannon kehitykset.

toiminnan piirissä. Puuntuotantoon käytettävä puubaranto oli tällöin 21 % korkeampi, mikä mahdollisti 19 % lisäyksen hakkuumäärissä ensimmäisellä 10-vuotiskaudella. Hakattavissa oleva puumäärä oli myös selvästi korkeampi kuin teollisuuden arviot kokonaispuunkäyttötärpeesta.

## 4 Hakkuumahdollisuuksien hyväksikäyttö

Hakkuumahdollisuuksien hyväksikäyttöä voidaan havainnollistaa vertaamalla toteutuneita hakkuumääriä hakkuumahdollisuuksien arvioihin. Vuotuiset hakkuumäärät ovat vaihdelleet Pohjois-Suomessa 7 ja 10 miljoonan m<sup>3</sup> välillä vuosina 1986–1994. Vuonna 1994, mikä on viimeinen tilastoitu vuosi, hakkuukertymä oli Pohjois-Suomessa 9,1 miljoonaa m<sup>3</sup> ja kokonaispoistuma 11,4 miljoonaa m<sup>3</sup>. Vuosina 1986–1994 Pohjois-Suomen hakkuumäärä on ollut keskimäärin 69 % seuraavan kymmenen vuoden hakkuumäärän arviosta perusvaihtoehdossa (kuva 5) ja 73 % teollisuuden arvioimasta tulevaisuuden puunkäyttötarpeesta. Vuosien 1986–1994 keskimääräisellä hakkuumäärällä puuvarannon arvioidaan karttuvan 10 vuodessa 9,6 % suuremmaksi kuin perusvaihtoehdon hakkuumäärää vastaavilla hakkuilla.

Metsälautakunta



Kuva 5. Vuonna 1994 ja vuosina 1986–1994 keskimäärin toteutuneen hakkuukertymän sekä perusvaihtoehdossa seuraavalle 10-vuotiskaudelle lasketun hakkuumäärän arvion suhde.

## 5 Päätelmät

Metsävarojen osalta hakkuita voitaisiin lisätä välittömästi, mutta puun riittävyys ei yksin ratkaise tulevia hakkuumääriä. Pohjois-Suomen puu myydään jalostettuna pääosin Suomen ulkopuolelle, ja metsäteollisuuden kilpailukyky ja kapasiteetti ratkaisevat puun kysynnän. Puun tarjonnasta samoin kuin metsien hoidosta päättävät puolestaan metsänomistajat. Toisaalta tässä esitetyistä hakkuumääristä on tingittävä, jos nyt puuntuotantoon käytettävistä olevista metsistä siirretään merkittäviä osia muuhun käyttöön – esimerkiksi suojelualueiksi.

Tuloksia on tarkasteltu lähinnä ensimmäisen 10-vuotiskauden ajalta, mutta myös hakkuumäärien ennakoitu kehittyminen ajan suhteen on tärkeä tulos. Tällaiset arviot samoin kuin metsien kehitysennusteet ovat kuitenkin ehdollisia, epävarmoja ja koskevat metsän kehitykseen nähden lyhyttä aikaa (Siitonen 1993). Täsmällisten tulevaisuutta koskevien ennusteiden esittäminen etukäteen on kuitenkin mahdollista, koska tulevaisuuden tapahtumista ei ole varmaa tietoa. Suunnittelulaskelmissa on lukuisia epävarmuustekijöitä ja jotkut tekijät puuttuvat niistä kokonaan. Esimerkiksi menneiden kausien avulla mallitettu kasvun ennuste heijastuu pitkän ajan hakkuumahdollisuuksien arvioon, ja luonnonpoistumaa ei kyetä ennustamaan vielä luotettavasti.

Aloite ja täsmennykset näihin laskelmiin tulivat Lapin metsästrategiatyöryhmältä. MH Markku Siitosen kokemus ja näkemys on ollut suureksi avuksi tulosten tulkinnassa. Siitonen ja MMK Olli Salminen ovat lukeneet käsikirjoituksen ja tehneet siihen huomioon otettuja parannusehdotuksia. Metsävaratiedot on toimittanut Metla/VMI. Kiitämme kaikkia myötävaikuttaneita.

## Kirjallisuus

- Ilvessalo, Y. 1927. Suomen metsät. Tulokset vuosina 1921–1924 suoritetusta valtakunnan metsien arvioimisesta. Summary: The forests of Finland (Suomi). Results of the general survey of the forests of the country carried out during the years 1921–1924. *Communications Instituti Forestalis Fennae* 11. 421 s. + taulukot.
- Kuusela, K. & Nyysönen, A. 1962. Tavoitehakuulaskelma. Summary: The cutting budget for a desirable growing stock. *Acta Forestalia Fennica* 74(6): 1–34.
- & Salminen, S. 1991. Suomen metsävarat 1977–1984 ja niiden kehittyminen 1952–1980. Summary: Forest resources of Finland in 1977–1984 and their development in 1952–1980. *Acta Forestalia Fennica* 220. 84 s.
- & Salovaara, A. 1971. Kainuun, Pohjois-Pohjanmaan, Koillis-Suomen ja Lapin metsävarat vuosina 1969–70. Summary: Forest resources in the forestry board districts of Kainuu, Pohjois-Pohjanmaa, Koillis-Suomi and Lappi in 1969–70. *Folia Forestalia* 110. 49 s.
- Lapin Metsä 2000 -ohjelma, 1988. Lapin lääninhallitus. 125 s. + liitteet.
- Lapin metsästrategia. 1996. Työryhmän raportti. Luonnos.
- Metsä 2000 Metsien hoidon ja käsittelyn työryhmän raportti. 1985. Talousneuvosto.
- Metsä 2000 -ohjelman tarkistustoimikunnan mietintö. 1992. 112 s. + liitteet.
- Metsätilastolliset vuosikirjat 1987–1995. Metsäntutkimuslaitos.
- Siitonen, M. 1983. A long term forestry planning system based on data from the Finnish national forest inventory. Proceedings of the IUFRO subject group 4.02 meeting in Finland, September 5–9, 1983. University of Helsinki, Department of Forest Mensuration and Management. Research Notes 17: 195–207.
- 1990. Suomen metsävarat ja metsien kehitysmahdollisuudet 1990–2030. Metsäntutkimuslaitos. Moniste.
- 1993. Experiences in the use of forest management planning models. Tiivistelmä: Kokemuksia mallien käytöstä metsätalouden suunnittelussa. *Silva Fennica* 27(2): 167–178.
- 1994. Some large-scale applications of the Finnish MELA system. Julkaisussa: Sessions, J. & Brodie, J.D (toim.) Proceedings of the 1994 symposium on system analysis in forest resources. s. 327–342.
- , Härkönen, K., Hirvelä, H., Jämsä, J., Salminen, O. & Teuri, M. 1995. MELA Handbook. Metsäntutkimuslaitos. Käsikirjoitus. 111 s. + liitteet.

- Tomppo, E. 1993. Kainuun metsälautakunnan alueen metsävarat ja niiden kehitys 1952–1992. Metsäntutkimuslaitos. Moniste.
- 1995. Koillis-Suomen, Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun metsävarat VMI8:n mukaan. Julkaisussa: Poikolainen, J. & Väärä, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kuusamossa 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 552: 9–19.
- & Hirvelä, H. 1994. Koillis-Suomen metsälautakunnan alueen metsävarat ja niiden kehitys 1952–1993. Metsäntutkimuslaitos. Moniste.
- & Hirvelä, H. 1995. Lapin metsälautakunnan alueen metsävarat ja niiden kehitys 1952–1994. Metsäntutkimuslaitos. Moniste.
- & Salminen, O. 1994. Pohjois-Pohjanmaan metsälautakunnan alueen metsävarat ja niiden kehitys 1952–1993. Metsäntutkimuslaitos. Moniste.

# Puiden ja puuston kasvu tasarakenteisissa ja erirakenteisissa kuivahkon kankaan havu- ja sekametsiköissä Lapissa

---

Yrjö Norokorpi<sup>1</sup>, Erkki Lähde<sup>2</sup> ja Olavi Laiho<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema  
PL 16, 96301 Rovaniemi

<sup>2</sup>Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus  
PL 18, 01301 Vantaa

<sup>3</sup>Metsäntutkimuslaitos, Parkanon tutkimusasema  
Kaironientie 54, 39700 Parkano

## 1 Johdanto

Metsiköiden puuston rakenteen kuvauksessa käytetään erilaisia määrittelyjä. Useimmiten metsiköt luokitellaan iän mukaan tasa- ja eri-ikäisrakenteisiksi. Puiden ikää ei kuitenkaan yleensä määritetä tai ei edes voida määrittää tarkasti paitsi viljelymetsiköissä. Tavallisesti tyydytään puiden rinnankorkeudelta mitatun läpimitan mittaamiseen (Smith 1962, Daniel ym. 1979). Puiden ikä ei kuitenkaan korreloi hyvin koon kanssa. Kasvu riippuu enemmän koosta kuin iästä (Cajander 1934, Sarvas 1944, Vuokila 1970, Indermühle 1978). Todellisen iän mukaan tehty luokitus aiheuttaa varjossa kasvaneiden puiden osalta kehitysvaiheen yliarviointia eri-ikäisrakenteisessa metsässä (Andreassen 1992). Näin ollen on tarkoituksenmukaista käyttää käsitteitä eri- ja tasarakenteinen, kun rakenteen peruskriteerinä on metsikön puiden läpimittajakauma (Lähde ym. 1994a).

Metsikön tasarakenteisuuden kriteerinä pidetään usein puiden läpimittajakauman suppeutta (Smith 1962, Daniel ym. 1979, Lähde ym. 1991, 1992). Toisinaan luokitellaan tasarakenteiseksi metsikkö, jonka runkolukujakauma noudattaa likimain normaalijakaumaa (Curtis 1978, Gibbs 1978, Gingrich 1978). Sellaista kutsutaan myös tyypillisen tasarakenteiseksi (Daniel ym. 1979). Jakauma saattaa tällöin olla hyvinkin laaja. Mm. Ilvessalo (1920a, 1920b) ja Lönnroth (1925) ovat nimittäneet tällaisia metsiköitä luonnonnormaaleiksi. Niitä kutsutaan myös säännöllisiksi ja muita rakenteita epäsäännöllisiksi (Schütz 1981).

Yleisesti ollaan yksimielisiä siitä, että tyypillisen erirakenteisia ovat metsiköt,

joiden runkolukujakauma noudattaa likipitäen käännetyn J:n muotoa (Baker 1934, Meyer 1952, Alexander ja Edminster 1978). Tällaisen rakenteen kuvasi ensimmäiseksi ranskalainen de Liocourt (1898). Erotuksena muista erirakenteisista metsiköistä käännetyn J:n muotoa muistuttavat puustorakenteet eritellään erilliseksi ryhmäksi (Daniel ym. 1979, Lähde ym. 1994a, 1994b). Daniel ym. (1979) kutsuvat niitä säännöllisen erirakenteisiksi. Epäsäännöllisillä Daniel ym. tarkoittavat muita erirakenteisia metsiköitä. Smith (1962) luokittelee muut erirakenteiset metsiköt samoin, mutta käännetyn J:n mukaisia hän kutsuu tasapainoisiksi (myös Meyer 1952) tai normaaleiksi. Oliver ja Larson (1990) kutsuvat käännetyn J:n rakenteen mukaisia monikerroksisiksi ja tasarakenteisia yksikerroksisiksi metsiköiksi.

Käännetyn J:n rakenteen mukaisessa erirakenteisessa metsikössä pienet puut ovat isompien puiden puristuksessa ja varjostuksessa. Sen vuoksi alistetussa asemassa olevien puiden kasvuedellytysten arvioidaan olevan heikompia kuin avoimessa tilassa kasvaneiden. Isot puut ovat olleet aiemmin samassa asemassa. Hidas kasvunopeus ja suuri tiheys nuoruusvaiheessa merkitsevät hyvää puun laatua ohutlustoisuuden ja ohutoksausisuuden ansiosta (Klensmeden 1984, Huuri ym. 1987). Alle kehittyvä uusi alikasvos edistää vuorostaan vallitseviksi kehittyneiden puiden karsiutumista (Leibundgut 1977, Klensmeden 1984). Vapautumisen jälkeen alikasvoksen ja muiden vallittujen puiden kasvu nopeutuu (Cajander 1934, Näslund 1944, Hawley 1946, Schütz 1969, Indermühle 1978, Nilsen ja Haveraaen 1983, Klensmeden 1984). Kasvun nopeutuminen riippuu puiden elpymiskyvystä ja koosta.

Erirakenteisena kasvatettaessa mahdollisimman monesta metsikön pienikokoisesta puusta pyritään kasvattamaan täysikokoinen puu. Tasarakenteisissa metsiköissä tiheys on ratkaisevin tekijä puun laatu- ja tuotoskehityksessä (Huuri ym. 1987). Kasvu pyritään kohdistamaan metsikön suurimpiin puihin ja pienimmät puut poistetaan alaharvennuksella.

Metsikön suhteellisen kasvun on Etelä-Suomen oloissa todettu inventointiaineistojen perusteella olevan erirakenteisessa metsikössä yleensä suurempi kuin tasarakenteisessa (Lähde ym. 1994a, 1994b, 1994c). Erityisesti se on erirakenteisessa havu-lehtipuusekametsikössä suurempi kuin puhtaassa tasarakenteisessa havumetsikössä (Lähde ym. 1994a, 1994b). Tilavuudeltaan yhtä suurissa metsiköissä myös tilavuuskasvu on em. tutkimusten mukaan erirakenteisissa suurempi kuin tasarakenteisissa. Lehtipuusekoitus lisää eroa nimenomaan erirakenteisessa metsikössä puhtaaseen havupuumetsikköön verrattuna. Erirakenteisessa metsikössä myös runkoluku on suurempi kuin tasarakenteisessa metsikössä. Samoin lehtipuusekoitus lisää runkolukua (Lähde ym. 1994a, 1994b).

Samankokoisten yksittäisten puiden kasvu saattaa siten kuitenkin olla erirakenteisessa metsikössä pienempi kuin tasarakenteisessa metsikössä. Tämän hypoteesin selvittämiseksi tässä tutkimuksessa verrataan rakenteeltaan erilaisten metsiköiden ja niissä samankokoisten puuyksilöiden välisiä kasvueroja. Tarkasteltavana ovat tilavuudeltaan samansuuruiset eri- ja tasarakenteiset puhtaat havumetsiköt sekä havupuualtaiset sekametsiköt Lapissa kuivahkoilla kankailla.

## 2 Tutkimusaineisto ja -menetelmät

Tutkimusaineistona on Suomessa vuosina 1951–53 kerätyn valtakunnan metsien 3. inventoinnin materiaali. Inventointi tehtiin systemaattisesti linjoilta otettuna ympyräkoela-arviointina (Ilvessalo 1951, 1956), jossa koela edusti yhtenäistä metsikköä. Jos systemaattisesti määräväleihin otettu koela osui erilaisten metsiköiden rajalle, se siirrettiin tietyn ohjeen mukaisesti saman yhtenäisen metsikön sisälle (Ilvessalo 1951). Rinnankorkeudelta kaksi senttimetriä ylittäneet puut mitattiin 0,01 ha suuruiselta alalta. Yli 10 cm läpimittaiset puut mitattiin samankeskiseltä 0,1 ha alalta.

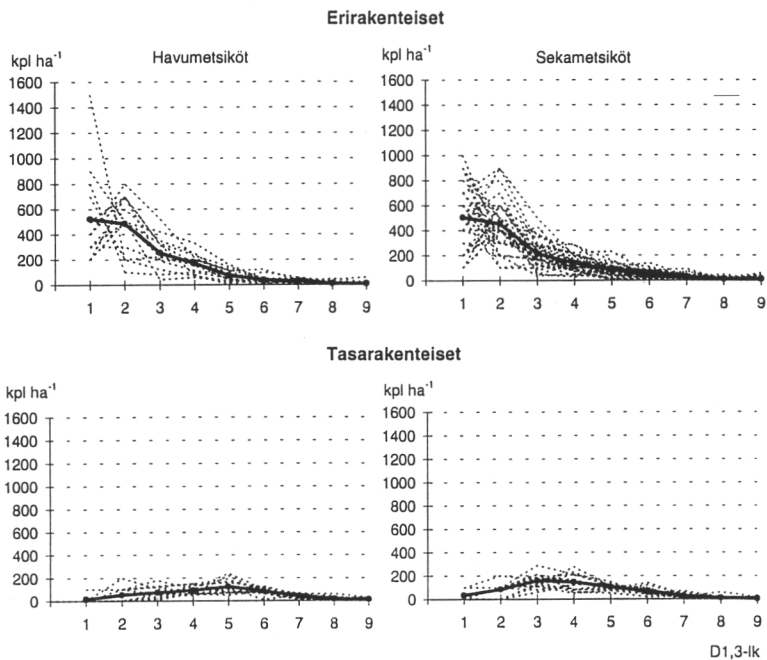
Kasvun mittausta varten otettiin koepuita eri läpimittaluokista ja -luokkaryhmistä sekä eri puulajeista arvioidun tilavuusosuutensa mukaisesti (Ilvessalo 1951). Suuria puita tuli siten otokseen suhteellisesti enemmän kuin pieniä. Koepuiden otanta aloitettiin ympyrän keskipistettä lähimmistä puista, jotka edustivat keskimäärin po. läpimittaluokkaa tai -luokkaryhmää. Otantaan kertyi koelalta yleensä 10–20 koepuuta. Lukumäärä riippui runkolukusarjan laajuudesta ja puulajien määrästä. Tutkimusalueeksi rajattiin Lapin ja Koillis-Suomen silloiset metsälautakunnat eli Lapin lääni ja Kuusamon kunta. Aineisto on kattava ja edustava otos tältä alueelta. Tutkittaviksi otettiin puhtaat havumetsiköt (lehtipuiden osuus < 10 % pohjapinta-alasta) ja havupuuvaltaiset (lehtipuuosuus 10–50 %) sekametsiköt kuivahkoilla kangasmailla. Sekametsiköiden puusto oli pääasiassa mäntyvaltaista.

Aineistoon otettiin koelat, joiden puusto oli varttunutta harvennusmetsää tai uudistuskypsää ja valtapuuston ikä oli 60–200 vuotta sekä tilavuus 80–160 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>. Tutkittaviksi otettiin runkolukujakaumaltaan (4 cm laajuiset läpimittaluokat: 1. 2–6, 2. 6–10, ..., 9. > 34 cm) erirakenteiset ja tasarakenteiset metsiköt (kuvat 1 ja 2) Lähteen ym. (1994a, 1994b) käyttämän luokituksen mukaan:

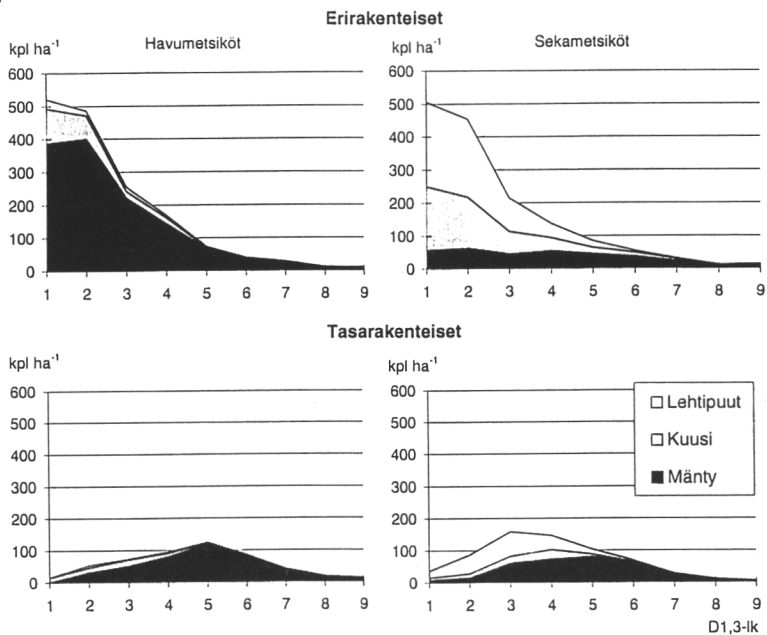
A. Erirakenteinen: Runkolukujakauma muistutti käännetyin J:n muotoa. Puita oli vähintään neljässä ensimmäisessä läpimittaluokassa. Moodi oli ensimmäisessä tai toisessa luokassa. Lisäehtona puita tuli olla kahdessa pienimmässä luokassa yhteensä vähintään 500 ja kaikissa luokissa yhteensä 1 000–3 000 kpl ha<sup>-1</sup>.

E. Tasarakenteinen: Runkolukujakauma muistutti normaalijakaumaa. Puita ei ollut eniten kahdessa ensimmäisessä läpimittaluokassa. Lisäehtona kokonaisrunkoluvun tuli olla 350–900 kpl ha<sup>-1</sup>.

Luokitus on sovellutus Smithin (1962) ja Danielin ym. (1979) luokituksista. Ko. kasvatusmenetelmien periaatteiden ja tavoitteiden mukaisesti rakenneluokkien välillä on huomattava ero puuston runkoluvussa. Tässä aineistossa erirakenteisten metsiköiden runkoluku oli keskimäärin lähes kolme kertaa suurempi kuin tasarakenteisten metsiköiden (taulukko 1). Ero muodostui pääasiassa pieniläpimittaisista puista. Läpimitaltaan yli 14 cm:n puita oli ensin mainitussa rakenneryhmässä noin 330 kpl ha<sup>-1</sup> ja viimeksi mainitussa noin 40 kpl ha<sup>-1</sup> enemmän. Puuston runkotilavuus oli keskimäärin 103–114 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> eikä rakenneryhmien välillä ollut merkittäviä eroja. Valtapituus oli keskimäärin alle yhden metrin lyhyempi erirakenteisilla



Kuva 1. Koaloittaiset runkolukujakaumat rakenneluokittain. Keskiarvo merkitty paksumalla, yhtenäisellä murtoviivalla. D1,3-luokat: 1 = 2–6, ..., 9 = >34 cm.



Kuva 2. Keskimääräinen runkolukujakauma puulajeittain ja puuston rakenne-luokittain. D1,3-luokat: 1 = 2–6, ..., 9 = >34 cm.

puustoilla verrattuna tasarakenteisiin. Erot eivät olleet merkitseviä. Sen sijaan erirakenteisten ryhmässä puhtaiden havumetsiköiden valtapituus oli 1,1 m lyhyempi kuin sekametsiköiden ja ero oli merkitsevä ( $p = 0,035$ ).

Taulukko 1. Puustotunnukset rakenneryhmittäin ( $\bar{x} \pm s$ ). Erojen merkitsevyyden testaus Kruskal-Wallis'n yksisuuntaisella varianssianalyysillä ja Mann-Whitneyn ei-parametrisellä U-testillä. Koealojen lukumäärä: erirakenteinen havumetsä 14 kpl ja sekametsä 34 kpl; tasarakenteinen havumetsä 13 kpl ja sekametsä 14 kpl.

Puustotunnus	Erirakenteinen	Tasarakenteinen	<i>p</i> -arvo
Runkoluku, kpl ha <sup>-1</sup>			
Havum.	1593 ± 311	518 ± 149	0,000
Sekam.	1504 ± 356	642 ± 134	0,000
<i>p</i> -arvo	0,307	0,047	
Tilavuus, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>			
Havum.	103 ± 20	114 ± 17	0,094
Sekam.	107 ± 21	103 ± 17	0,759
<i>p</i> -arvo	0,618	0,069	
Pohjapinta-ala, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>			
Havum.	17,1 ± 2,1	16,1 ± 2,2	0,182
Sekam.	17,3 ± 3,0	14,7 ± 2,4	0,013
<i>p</i> -arvo	0,982	0,159	
Lehtipuiden osuus pohjapinta-alasta, %			
Havum.	3,7 ± 3,9	2,7 ± 3,5	0,580
Sekam.	27,1 ± 10,2	19,7 ± 6,1	0,016
<i>p</i> -arvo	0,000	0,000	
Valtapituus, m			
Havum.	14,6 ± 1,7	15,5 ± 2,0	0,307
Sekam.	15,7 ± 1,0	16,2 ± 1,8	0,249
<i>p</i> -arvo	0,035	0,395	
Valtapuuston ikä, a			
Havum.	125 ± 35	126 ± 44	0,836
Sekam.	118 ± 30	136 ± 37	0,166
<i>p</i> -arvo	0,578	0,394	
Tilavuuskasvu, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> (kuoretta)			
Havum.	1,9 ± 0,7	1,5 ± 0,6	0,076
Sekam.	1,9 ± 0,7	1,6 ± 0,5	0,454
<i>p</i> -arvo	0,901	0,382	
Suhteellinen tilavuuskasvu, %			
Havum.	1,9 ± 0,7	1,3 ± 0,5	0,015
Sekam.	1,8 ± 0,5	1,6 ± 0,6	0,496
<i>p</i> -arvo	0,555	0,081	

Kuivahkon kankaan puhtaissa havumetsiköissä oli erirakenteisia puustoja yhteensä 102 koealalla, joista 14 kpl (14 %) täytti an. etut runkolukukriteerit. Tasarakenteisia puustoja oli 83 koealalla, joista 13 kpl (16 %) täytti runkolukuehdot. Havupuuvaltaisissa sekametsiköissä vastaavat lukumäärät olivat erirakenteisille puustoille 281 ja 34 koealaa (12 %) sekä tasarakenteisille 61 ja 14 koealaa (23 %).

Puukohtaisessa kasvun tarkastelussa käytettiin samoja 4 cm laajuisia läpimittaluokkia. Tasarakenteisten puustojen havaintojen niukkuuden vuoksi kasvun vertailu rajoitettiin 6–26 cm läpimittaisiin puihin.

Tutkittavia koepuita kertyi yhteensä 652 kpl. Niissä oli yhteensä 398 mäntyä, 125 kuusta ja 129 koivua.

Koepuista mitatuista tiedoista tarkasteltiin viiden viimeisen vuoden sädekasvua (1,3 metrin korkeudelta) vuotuisena keskiarvona ja havupuista myös viiden viimeisen vuoden keskimääräistä vuotuista pituuskasvua.

Mäntyjen, kuusten ja koivujen kasvueroja verrattiin Kruskall-Wallisin yksisuuntaisella varianssianalyysillä läpimittaluokissa pareittain yhtäältä puuston rakenteen ja toisaalta puulajikoostumuksen mukaan ryhmiteltynä. Erojen merkitsevyyden testauksessa käytettiin Mann-Whitneyn ei-parametristä U-testiä. Näin meneteltiin, koska havaintojen jakaumat eivät täyttäneet normaalisuusehtoa eivätkä varianssit olleet yhtä suuria.

### 3 Tulokset

Kuoreton vuotuinen tilavuuskasvu oli suurempi erirakenteisissa metsiköissä verrattuna tasarakenteisiin (taulukko 1). Ero oli suuntaa-antavasti merkitsevä havumetsiköiden ryhmässä ( $p = 0,076$ ). Kasvuprosentin osalta ero oli jopa merkitsevä ( $p = 0,015$ ). Lisäksi tasarakenteisten ryhmässä sekametsiköiden suhteellinen kasvu oli suuntaa-antavasti suurempi kuin havumetsiköissä ( $p = 0,081$ ). Erirakenteisten ryhmässä lehtipuusekoituksella ei ollut vaikutusta tilavuuskasvuun.

Erirakenteisten puustojen keskinäisessä vertailussa sekä männyn että kuusen pituuskasvu oli puhtaissa havumetsiköissä keskimäärin hieman suurempi kuin sekametsiköissä. Erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä (taulukko 2). Sitä vastoin niiden sädekasvu oli sekametsiköissä suurempi kuin havumetsiköissä läpimittaluokissa 14–26 cm. Vain männyn 22–26 cm:n läpimittaluokassa ero oli merkitsevä ( $p = 0,001$ ).

Tasarakenteisissa puustoissa lehtipuusekoituksella oli edullinen vaikutus sekä männyn pituus- että sädekasvuun. Erot olivat merkitseviä pituuskasvun osalta läpimittaluokissa 10–14 ja 22–26 cm (taulukko 2). Kuusella samansuuntainen vaikutus näkyi sädekasvussa, mutta erot eivät olleet merkitseviä.

Rakenneryhmien välinen vertailu osoitti, että erirakenteisissa havumetsiköissä männyn pituuskasvu oli kaikissa läpimittaluokissa suurempi kuin tasarakenteisissa metsiköissä (kuva 3). Ero oli merkitsevä ( $p < 0,05$ ) luokissa 6–10, 10–14 ja 18–22 cm. Myös männyn sädekasvu oli tasarakenteisissa havumetsiköissä pienempi kuin erirakenteisissa havumetsiköissä lukuunottamatta luokkaa 22–26 cm (kuva 4). Ero

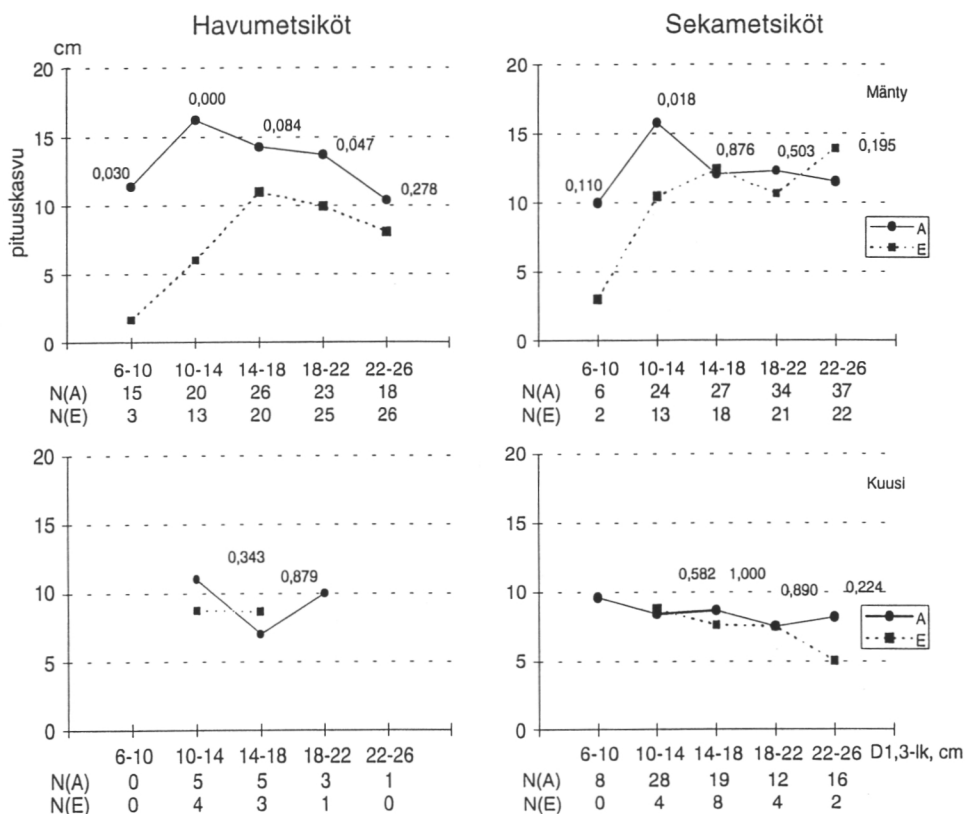
oli merkitsevä ( $p = 0,05$ ) luokissa 10–14 ja 14–18 cm.

Sekametsiköissä erot männyn pituus- ja paksuuskasvussa olivat pienemmät, mutta samansuuntaiset rakenneryhmien välillä kuin havumetsiköissä. Ero oli merkitsevä erirakenteisten hyväksi vain luokassa 10–14 cm niin pituus- kuin sädekasvun osalta (kuvat 3 ja 4). Lisäksi ero oli suuntaa-antavasti merkitsevä ( $p = 0,089$ ) viimeksi mainitun muuttujan osalta luokassa 18–22 cm.

Metsikön rakenteella ja puulajisuhteilla ei ollut vaikutusta kuusen ja koivun pituus- tai sädekasvuun (kuvat 3 ja 4). Vertailtavat tunnusluvut olivat samaa suuruusluokkaa eikä merkitseviä eroja todettu.

Taulukko 2. Havupuiden vuotuisen pituus- ja sädekasvun ( $\bar{x} \pm s$ ) vertailu läpimittaluokittain puhtaissa ja sekapuustoisissa havumetsiköissä rakenneryhmän sisäisesti. Koepuiden lukumäärä ilmenee kuvista 3 ja 4.

D1,3-luokka, cm	Pituuskasvu, cm			Sädekasvu, mm		
	Havumetsä	Sekametsä	<i>p</i> -arvo	Havumetsä	Sekametsä	<i>p</i> -arvo
Erirakenteinen						
Mänty						
6-10	11,4±7,1	10,0±6,3	0.661	0,5±0,2	0,5±0,3	0.968
10-14	16,3±8,9	15,8±6,4	0.791	0,7±0,3	0,7±0,4	0.712
14-18	14,3±7,1	12,1±6,2	0.238	0,6±0,2	0,7±0,3	0.122
18-22	13,7±6,8	12,3±7,3	0.408	0,6±0,3	0,8±0,3	0.144
22-26	10,4±6,8	11,5±6,4	0.509	0,5±0,3	0,8±0,3	0.001
Kuusi						
10-14	11,0±4,2	8,4±4,6	0.166	0,6±0,4	0,5±0,2	0.839
14-18	7,0±5,7	8,7±6,7	0.711	0,4±0,2	0,5±0,3	0.386
18-22	10,0±8,7	7,5±3,4	0.869	0,3±0,2	0,5±0,2	0.104
22-26		8,2±3,9			0,5±0,3	0.606
Tasarakenteinen						
Mänty						
6-10	1,7±2,9	3,0±2,8	0.361	0,3±0,3	0,2±0,0	1.000
10-14	6,0±3,7	10,5±5,8	0.041	0,4±0,1	0,4±0,2	0.660
14-18	11,0±6,2	12,4±8,2	0.580	0,5±0,2	0,7±0,3	0.035
18-22	10,0±5,2	10,7±6,8	0.700	0,6±0,2	0,6±0,3	0.524
22-26	8,1±5,0	13,9±6,8	0.003	0,7±0,3	0,7±0,3	0.776
Kuusi						
10-14	8,8±2,5	8,8±2,5	1.000	0,5±0,2	0,5±0,2	0.700
14-18	8,7±10,0	7,6±4,4	0.833	0,5±0,2	0,6±0,2	0.677
18-22		7,5±2,9			0,6±0,2	
22-26		5,0±0,0			0,6±0,2	

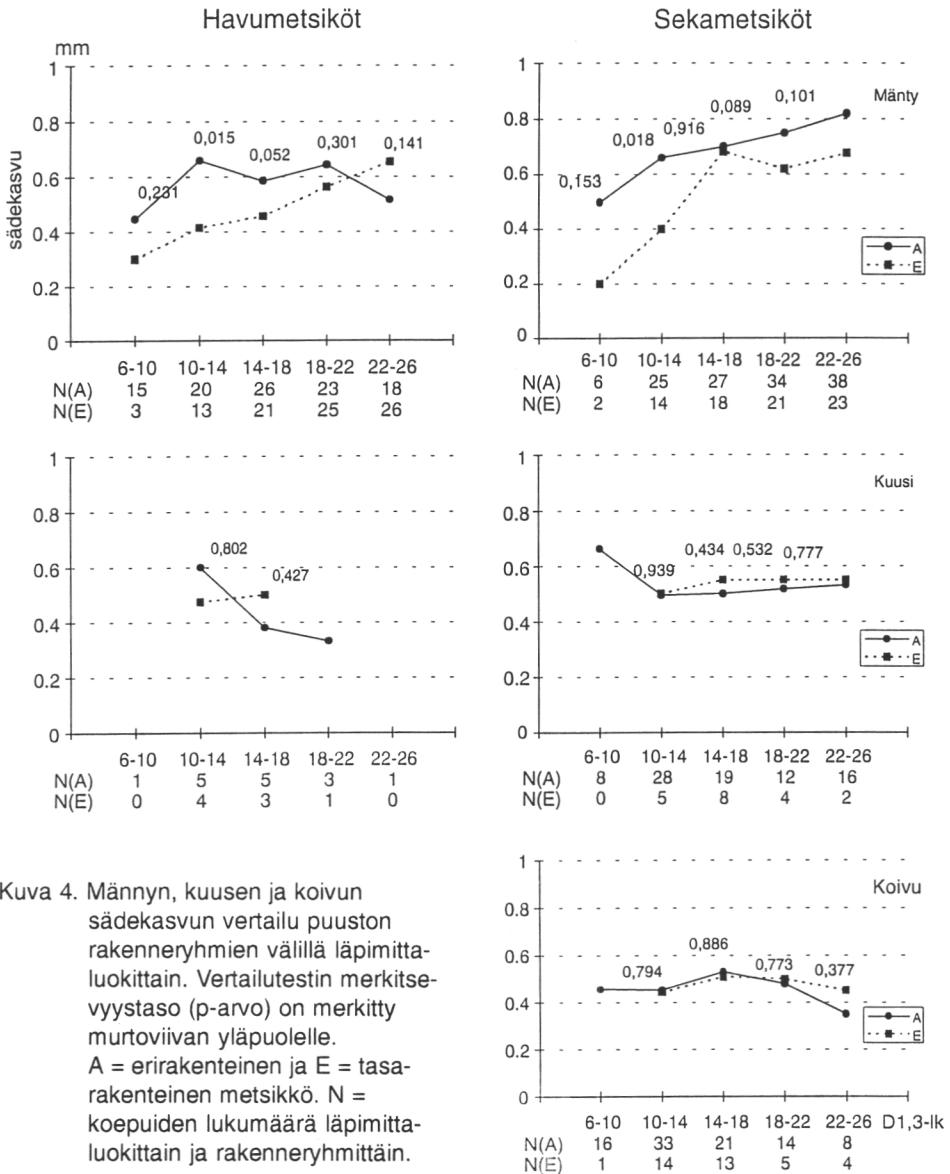


Kuva 3. Männen ja kuusen koepuiden vuotuisen pituuskasvun vertailu puuston rakenneryhmien välillä läpimittaluokittain. Vertailutestin merkitsevyystaso (p-arvo) on merkitty murtoviivan yläpuolelle. A = erirakenteinen ja E = tasarakenteinen metsikkö. N = koepuiden lukumäärä läpimittaluokittain ja rakenneryhmittäin.

## 4 Tarkastelu

Nyt tutkittu aineisto osoitti, että Lapin kuivahkoilla mäntyvaltaisilla kivennäismailla puuston erirakenteisuudella on lievä kasvua lisäävä vaikutus runkotilavuuden ollessa samaa suuruusluokkaa. Tosin on otettava huomioon, että myös tasarakenteiseksi luokitelluissa puustoissa runkolukujakauma oli varsin laaja. Ne olisivat Laihon ym. (1995) luokituksen mukaan olleet kupevan erirakenteisia ja Ilvesalon (1920a, 1920b) mukaan luonnonnormaaleja metsiköitä. Tiukemman kriteerin mukaisia tasarakenteisia metsiköitä ei löytynyt aineistosta vertailua varten. Lehtipuiden edullista vaikutusta ei voitu todeta tässä tutkimuksessa.

Pohjois-Suomessa ei ole aiemmin tehty vertailututkimuksia puulajisekoituksen tai metsikön rakenteen vaikutuksesta yksittäisten puiden kasvuun. Etelä-Suomen puustoa koskevista tutkimuksista on pääteltävissä, että erirakenteisuus ja lehtipuusekoitus lisäävät metsikön kasvua ja tuotosta sitä enemmän mitä edullisemmissä ekologisissa oloissa ollaan (Lähde ym. 1994a, 1994b, 1994c). Mielikäisen (1985) mukaan lievä rauduskoivusekoitus lisäsi puhtaaseen kuusikkoon verrattuna koko-



Kuva 4. Männyn, kuusen ja koivun sädekasvun vertailu puuston rakenneryhmien välillä läpimittaluokittain. Vertailutestin merkitsevyystaso (p-arvo) on merkitty murtoviivan yläpuolelle. A = erirakenteinen ja E = tasarakenteinen metsikkö. N = koepuiden lukumäärä läpimittaluokittain ja rakenneryhmittäin.

naiskasvua 3–5 % tasarakenteisissa metsissä Etelä-Suomessa. Männikössä alle 20 %:n rauduskoivusekoitus nosti niin ikään hieman kokonaistuotosta (Mielikäinen 1980). Hieskoivun vaikutus oli vähäisempi. Myös Lappi-Seppälä (1930) ja Jonsson (1962) havaitsivat, että koivusekoitus paransi männyn kasvua tasaikäisissä metsiköissä. Barthin (1929) tutkimassa kuusivaltaisessa erirakenteisessa metsässä kasvu oli  $1,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  suurempi kuin kyseisellä metsäalueella keskimäärin. Bøhmerin (1957) mukaan erirakenteinen puusto antaa hakkuussa enemmän järeää, arvokasta puuta kuin tasarakenteinen metsä. Kuusen kasvu hänen mukaansa ylitti tasarakenteisen metsän keskimääräisen tuotoksen.

Lundqvistin (1989, 1993) tutkimuksen erirakenteisia kuusikoita oli Ruotsissa käsitelty useiden vuosikymmenten ajan puittain jatkuvalla kasvatuksella. Osalla koealoista puusto oli säilyttänyt säännöllisen erirakenteisen metsän runkolukujakauman. Useimmat koealat olivat lähellä sitä. Suhteellinen kasvu oli keskimäärin kolme prosenttia. Se vastasi samanlaisen kasvupaikan tasarakenteisen metsän arvioitua keskimääräistä suhteellista kasvua. Lundqvistin aineistossa lehtipuusuosuus oli vähäinen. Tiheydellä tai tilavuudella ei näyttänyt olleen juurikaan vaikutusta kasvuun. Myöskään Vuokilan (1977) mukaan tasarakenteisessa metsässä harvenustavalla ei ole suurta vaikutusta puuston kasvuun.

Andreassen (1994) on Norjassa julkaissut tuloksia pitkäaikaisista erirakenteisten metsiköiden kasvatuskokeista. Tasarakenteisten koealojen puuttumisen vuoksi hän käytti vertailussa vastaavien kasvupaikkojen hoidettujen tasarakenteisten puustojen optimituotosarvoja. Niiden perusteella kasvu jäi jonkin verran pienemmäksi erirakenteisten puustojen koealoilla. Tuotos oli parhain luontaisesti hyvin uudistuvilla kasvupaikoilla, joilla puuston runkolukujakauma noudatti säännöllisen käännetyn J:n muotoa. Kasvun vaihtelu oli koealoilla hyvin suuri. Osa niistä oli erittäin vajaa-puustoisia, metsikkörakenteeltaan epämääräisiä ja siten huonosti vertailuun sopivia.

Metsikön kasvun on todettu vaihtelevan melko vähän laajalla tilavuuden vaihtelualueella, ja puuston harvetessa kasvu keskittyy yhä harvempiin puihin (Gingrich 1978, Marquis 1978). Yksittäisen puun kasvu on siten tiheässä metsikössä pienempi kuin harvassa. Tässä tutkimuksessa puuston rakenne vaikutti samankokoisten mäntyjen sekä pituus- että paksuuskasvuun. Erirakenteisuuden edullinen vaikutus oli suurempi puhtaissa havumetsiköissä kuin sekametsiköissä. Vastoin oletusta ero oli suhteellisesti suurin pienissä läpimittaluokissa (alle 14 cm), joissa puuston olennaisimmat tiheyserotkin ilmenivät. Alhaisempi runkoluku tasarakenteisissa metsiköissä ja siksi pienempi keskinäinen kilpailu puiden välillä saattoi olla syynä mäntyjen huonompaan kasvuun verrattuna erirakenteisiin metsiköihin. Kuusen ja koivun kasvuun metsikkörakenteella ei ollut vaikutusta. Siten tutkimuksen hypoteesi, että yksittäiset puut kasvaisivat tasarakenteisessa puustossa paremmin kuin erirakenteisessa, ei saanut vahvistusta. Männyn osalta tulos oli jopa päinvastainen.

Erirakenteisessa metsässä on ominaista kaikenikäisten ja erikokoisten puiden olemassaolo. Harventaminen on Laihon (1986) mukaan välttämätöntä, jotta rakenne ei johtaisi puiden kuolemiseen ja tasarakenteisuuteen. Nuorennosta tulee olla runsaasti ja sen tulee voida kehittyä ja säilyttää elinvoimaisuutensa. Lisävaltapuilla on todettu tasarakenteisissa havumetsissä olevan korkein tilavuuskasvuprosentti (Nyyssönen 1954, Vuokila 1977). Alikasvoskuusten on todettu vapauttamisen jälkeen kiihdyttävän nopeasti kasvuaan (Cajander 1934, Näslund 1944, Nilsen ja Haveraaen 1983). Niissä on potentiaalinen kasvun lisääntymismahdollisuus vapauttamisen jälkeen.

Erirakenteisen metsän hakkuulla vapautetaan nimenomaan potentiaalista kasvua. Siten saadaan metsikön kasvu hakkuulla nopeutumaan. Pienempien puiden hakkuu alaharvennuksella tasarakenteisessa metsässä ei juurikaan voimista jo valmiiksi vapaassa tilassa kasvaneiden isojen puiden kasvua. Toisaalta tiheän kuusialikasvoksen on todettu haittaavan metsikön valtapuustona olevan männikön kas-

vua (Isomäki 1979). Uudistamiskustannusten jäädessä pois tällainen yhdistelmä on kuitenkin edullisempi kuin puhdas tasarakenteinen männikkö.

## Kirjallisuus

- Alexander, R. R., & Edminster, C. B. 1978. Regulation and control under uneven-aged management. Julkaisussa: Uneven-aged silviculture and management in the United States. USDA, Forest Service, Timber management research. Washington, D. C. General Technical Report WO-24: 217–230.
- Andreassen, K. 1992. Volume production and problem with the stability of the stand structure in uneven-aged and multi-layered spruce (*Picea abies* Karst.) forest in Norway. Julkaisussa: Hagner, M. (toim.). Silvicultural alternatives. Proceedings from an internordic workshop, June 22–25, 1992. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture, Reports 35: 23–28.
- 1994. Development and yield in selection forest. *Meddelser fra Skogforsk* 47(5): 1–37.
- Baker, F. S. 1934. Theory and Practice of Silviculture. McGraw-Hill Book Company. New York and London. 502 s.
- Barth, A. 1929. Skjermforyngelsen i produksjonsøkonomisk belysning. *Acta Forestalia Fennica* 34 (15): 1–33.
- Bøhmer, J. G. 1957. Bledningsskog II. *Tidskrift for skogbruk* 65: 203–247.
- Cajander, E. K. 1934. Kuusen taimistojen vapauttamisen jälkeisestä pituuskasvusta. Referat: Über den Höhenzuwachs der Fichtenpflanzenbestände nach der Befreiung. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 19(5): 1–59.
- Curtis, R. O. 1978. Growth and yield in uneven-aged stands. Julkaisussa: Uneven-aged silviculture and management in the United States. USDA, Forest Service, Timber management research. Washington, D.C. General Technical Report WO-24: 186–201.
- Daniel, V., Helms, J. A. & Baker, F. S. 1979. Principles of Silviculture. 2nd ed. McGraw-Hill Book Company. 500 s.
- Gibbs, C. B. 1978. Uneven-aged silviculture and management? Even-aged silviculture and management? Definitions and differences. Julkaisussa: Uneven-aged silviculture and management in the United States. USDA, Forest Service. Timber management research. Washington, D. C. General Technical Report WO-24: 18–24.
- Gingrich, S. F. 1978 Growth and yield. Julkaisussa: Uneven-aged silviculture and management in the United States. USDA, Forest Service, Timber management research. Washington, D.C. General Technical Report WO-24: 115–124.
- Hawley, R. C. 1946. The Practice of Silviculture. 5. painos. John Wiley & Sons, Inc New York, 354 s.
- Huuri, O., Lähde, E. & Huuri, L. 1987. Tiheyden vaikutus nuoren istutusmännikön laatuun ja tuotokseen. Summary: Effect of stand density on the quality and yield of young Scots pine plantations. *Folia Forestalia* 685. 48 s.
- Ilvessalo, Y. 1920a. Tutkimuksia metsätyyppien taksatoorisesta merkityksestä nojautuen etupäässä kotimaiseen kasvutaulujen laatimistyöhön. Referat: Untersuchungen über die taxatorische Bedeutung der Waldtypen, hauptsächlich auf den Arbeiten für die Aufstellung der neuen Ertragstafeln Finnlands fussend. *Acta Forestalia Fennica* 15 (3): 1–157.
- 1920b. Kasvu- ja tuottotaulut Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Referat: Ertragstafeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in der Südhälfte von Finnland. *Acta Forestalia Fennica* 15 (4): 1–94.
- 1951. III valtakunnan metsien arviointi. Suunnitelma ja maastotyön ohjeet. Summary: Third national forest survey in Finland. Plan and instructions for field work. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 39(3): 1–67 s.
- 1956. Suomen metsät vuosista 1921–24 vuosiin 1951–53. Kolmeen valtakunnan metsien inventointiin perustuva tutkimus. Summary: The forests of Finland from 1921–24 to 1951–53. The survey based on three national forest inventories. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 47(1): 1–227 s.

- Indermühle, M. S. 1978. Struktur-, Alters-, und Zuwachsuntersuchungen in einem Fichten-Plenterwald der subalpinen Stufe. Beiheft zu den Zeitschriften des schweizerischen Forstvereins 60. 98 s.
- Isomäki, A. 1979. Kuusialikasvoksen vaikutus männikön kasvuun, tuotokseen ja tuottoon. Summary: The effect of spruce undergrowth on the increment, yield and returns of a pine stand. *Folia Forestalia* 392. 13 s.
- Jonsson, B. 1962. Om barrblandskogens volymproduktion. Summary: Yield of mixed coniferous forests. *Meddelanden statens skogsforskningsinstitut*. 50: 1–143.
- Klensmeden, U. 1984. Stamvis blädning. Några studier på två försöksytor i Dalarna. Examensarbete 1984–86. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsskötsel. Umeå. 38 s.
- Laiho, O. 1986. Puuston rakenteen vaikutus metsikön kasvatustihyteen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 219: 121–142.
- , Lähde, E., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1995. Metsikön rakenne ja terminologiaa. Julkaisussa: Laiho, O. & Luoto, T. (toim.). *Metsäntutkimuspäivä Tampereella 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 538: 59–69.
- Lappi-Seppälä, M. 1930. Untersuchungen über die Entwicklung gleichaltiger Mischbestände aus Kiefer und Birke. Seloste: Tutkimuksia tasaikäisen mänty-koivusekametsikön kehityksestä Suomen eteläpuoliskosta kootun aineiston perusteella. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 15 (2): 1–243.
- Leibundgut, H. 1977. Über die Notwendigkeit naturnahen Waldbaues. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 128(7): 490–502
- Liocourt, F. de. 1898. De l'aménagement des sapinières. *Bulletin Society of Forest. Franche-Comté et Belfort* 4: 396–409.
- Lundqvist, L. 1989. Blädning i granskog. Strukturförändringar, volymtillväxt, inväxning och föröng-ring på försöksytor skötta med stamvis blädning. Summary: Use of the selection system in Norway spruce forests – changes in the stand structure volume increment, in growth and regeneration on experimental plots managed with single tree selection. *Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsskötsel*. Umeå. 99 s.
- 1993. Changes in the stand structure on permanent *Picea abies* plots managed with single-tree selection. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 510–517.
- Lähde, E., Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1991. The structure of advanced virgin forests in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 6(2): 527–537.
- , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1992. Stand structure of thinning and mature conifer-dominated forests in boreal zone. Julkaisussa: Hagner, M. (toim.). *Silvicultural alternatives, Proceedings from an internordic workshop, June 22–25, 1992. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture. Reports* 35: 58–65.
- , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1994a. Structure and yield of all-sized and even-sized conifer-dominated stands on fertile sites. *Annales des Sciences Forestières*, 51(2): 97–109.
- , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1994b. Structure and yield of all-sized and even-sized Scots pine-dominated stands. *Annales des Sciences Forestières*, 51(2): 111–120.
- , Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1994c. Tree and stand increment in all- and even-sized mixed stands. Julkaisussa: Pinto da Costa, M. E. & Preuhler, T. (toim.). *Mixed stands, Research Plots – Measurements and Results – Models. Proceedings from the Symposium of the IUFRO Working Groups S4.01-03: Design, Performance and Evaluation of Experiments, and S4.01-04: Growth Models for Tree and Stand Simulation, April 25–29, 1994, in Lousa/Coimbra, Portugal.* s. 147–157.
- Lönnroth, E. 1925. Untersuchungen über die innere Struktur und Entwicklung gleichaltriger naturnormaler Kiefernbestände, basiert auf Material aus der Südhälfte Finnlands. *Acta Forestalia Fennica* 30(1): 1–269.
- Marquis, D.A. 1978. Application of uneven-aged silviculture on public and private lands. Julkaisussa: *Uneven-aged silviculture and management in the United States. USDA, Forest Service. Timber management research. Washington D. C. General Technical Report WO-24: 25–61.*
- Meyer, H. A. 1952. Structure, growth, and drain in balanced uneven-aged forests. *Journal of Forestry* 50(2): 85–92.

- Mielikäinen, K. 1980. Mänty-koivusekametsiköiden rakenne ja kehitys. Summary: Structure and development of mixed pine and birch stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 133, 79 s.
- 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. Summary: Effect of an admixture of birch on the structure and development of Norway spruce stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 133, 79 s.
- Nilsen, S. & Haveraaen, O. 1983. Årringbredder hos gjenstående traer etter høgst i eldre granskog. Report fra Norsk Institut for skogforskning 9: 1–16.
- Nyysönen, A. 1954. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of Finnish pine stands treated with different cuttings. *Acta Forestalia Fennica* 60 (4): 1–194.
- Näslund, M. 1944. Den gamla norrländska granskogens reaktionsförmåga efter genomhyggnig. Referat: Die Reaktionsfähigkeit des alten norrländischen Fichtenwaldes nach Durchhauung. *Meddelanden från statens skogsförsöksanstalt* 33, 194 s.
- Oliver, C. D. & Larson, B. C. 1990. Forest stand dynamics. McGraw-Hill, New York, 467 s.
- Sarvas, R. 1944. Tukkipuun harsintojen vaikutus Etelä-Suomen yksityismetsiin. Referat: Einwirkung der Sägestamplenterungen auf die Privatwälder Südfinnlands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 33(1): 1–268 s.
- Schütz, J.-Ph. 1969. Etude des phénomènes de la croissance en hauteur et en diamètre du sapin (*Abies alba* Mill.) et de l'épicéa (*Picea abies* Karst.) dans deux peuplements jardinés et une forêt vierge. Supplément aux organes de la Société forestière suisse, 44: 1–114.
- 1981. Que peut apporter le jardinage a notre sylviculture. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 132 (4): 219–242.
- Smith, D. M. 1962. The Practice of Silviculture. John Wiley and Sons. New York. 578 s.
- Vuokila, Y. 1970. Harsintaperiaate kasvatushakuissa. Summary: Selection from above in intermediate cuttings. *Acta Forestalia Fennica* 110, 45 s.
- 1977. Harsintaharvennus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä. Abstract: Selective thinning from above as a factor of growth and yield. *Folia Forestalia* 298, 17 s.





ISBN 951-40-1497-9  
ISSN 0358-4283